

DISCOVERY OF THE UNIVERSE

天文学简史

世界名著译丛

[法] G. 伏古勒尔 著
李珩 译
罗玉君 校



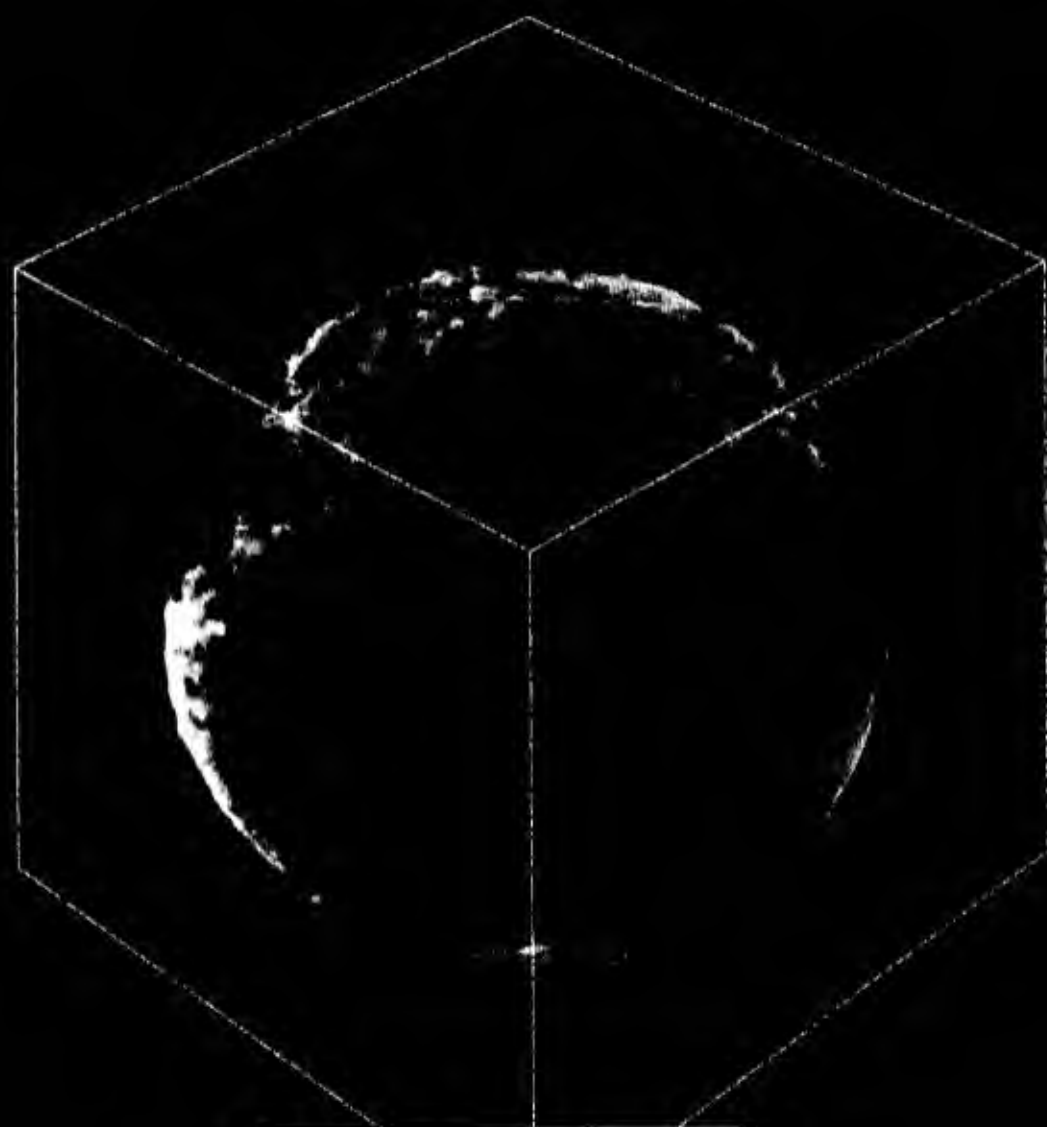
GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

[天文学简史]

世界名著译丛

[法] G. 伏古勒尔 著
李增 译
罗玉君 校



A1056298

广西师范大学出版社

· 桂林 ·



ISBN 7-5633-3768-7



9 787563 337682 >

ISBN 7-5633-3768-7/P · 027

定价 39.80 元

图书在版编目(CIP)数据

天文学简史/(法)G.伏古勒尔著;李珩译;罗玉君校.
—桂林:广西师范大学出版社,2002.12

ISBN 7-5633-3768-7

I.天… II.①伏…②李…③罗… III.天文学简史
IV.P1-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059944 号

ISBN 7-5633-3768-7/P·027

广西师范大学出版社出版发行

(桂林市育才路 15 号 邮政编码:541004)
网址:www.bbtpress.com

出版人:萧启明

全国新华书店经销

发行热线:010-64284815

深圳大公印刷有限公司印刷

(南山区南油大道东华园五栋 邮政编码:518054)

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17.25 插页:32 页 字数:188 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:0 001~8 000 定价:39.80 元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。



著名的古代星座图

弗兰姆斯替德星图中的猎户座与金牛座(上图)

意大利穹顶上的古星图(下图), 南船座明显可见。





中国著名古代天文仪器 浑仪(上图) 简仪(下图)
1437年仿制，用铜铸成，现陈列于南京紫金山天文台。





当代最大的1米折射望远镜



太阳系创世记 [美] K. 魏末 绘

大约在 50 亿年前，在银河系中的一些星云物质经过旋转演化而诞生了我们原始的太阳系。



太阳系的今天

约46亿年前，地球和月球以及太阳系的其他天体先后形成，终于有了今天的模样。带环的土星显而易见，在它上方的蓝色行星正是地球。

月有陰晴圓缺(月球不同位相的照片)





人在月球上

1969年7月20日人类第一次登上了月球，是人类第一次走出地球登上别的星球。

日全食的过程

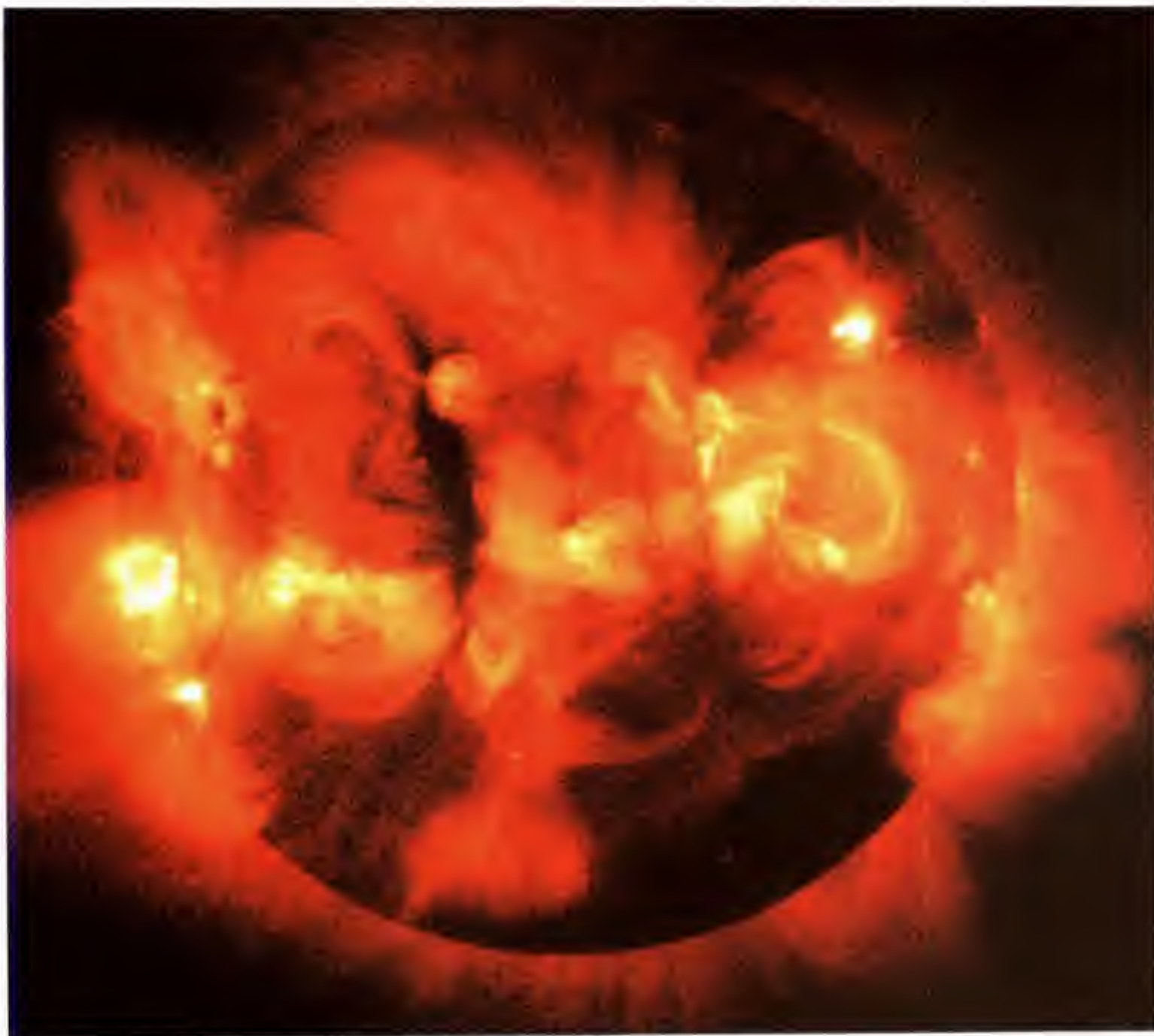
照片记录了一次日全食前后的过程。左上和右下是日全食前后的偏食阶段。中间是日全食的壮观景象。它的前后都发生倍里珠现象(也叫钻石效应)。





20 世纪的最后日全食

1999 年 8 月 11 日在欧洲出现的日全食照片。银白色的日冕和鲜红色的日珥大放光彩。日冕的磁力线细微图形更为罕见。右下是同一天的太阳色球照片。



太阳的 X 射线图像

1991 年太阳观测卫星的 X 射线太阳照片，太阳内部的活动是多么猛烈，大气的翻滚何等宏伟。被太阳外围大气——日冕的百万度高温离化了的的气体都顺着磁力线流动，显示太阳磁场图形。这也是被誉为 20 世纪最佳天文照片之一。



土星世界

带着宽大光环的土星显示出它不平凡的美姿。这张用“旅行者”1号拍摄的近距照片，又把几颗卫星照片拼接成母子合影。在土星上的是土卫Ⅰ，它上面的大卫星是土卫Ⅱ，右边是土卫Ⅳ……现知土星共有30颗卫星。



土星美景 [美] C. 邦艾斯泰 绘

这一幅太空美术名作描绘出在土卫VI天空中的土星美景。新月般的土星在光环衬映下格外奇妙。土卫VI有大气，因此也有蓝天。



近些年来的著名彗星

1976 年的威斯特彗星（左上）

2002 的池谷—张（大庆）彗星与仙女座星系（右下）





夏夜银河与牛郎织女

盛夏季节，银河高悬，牛郎星（牵牛星）位于银河东岸（左中亮星）和织女星（右上方亮星）遥相呼应，正如唐诗中“卧看牵牛织女星”名句所指。出现在南方地平线上的是银河最辉煌的部分，南斗六星就在这里（银河最亮处的左上方）。



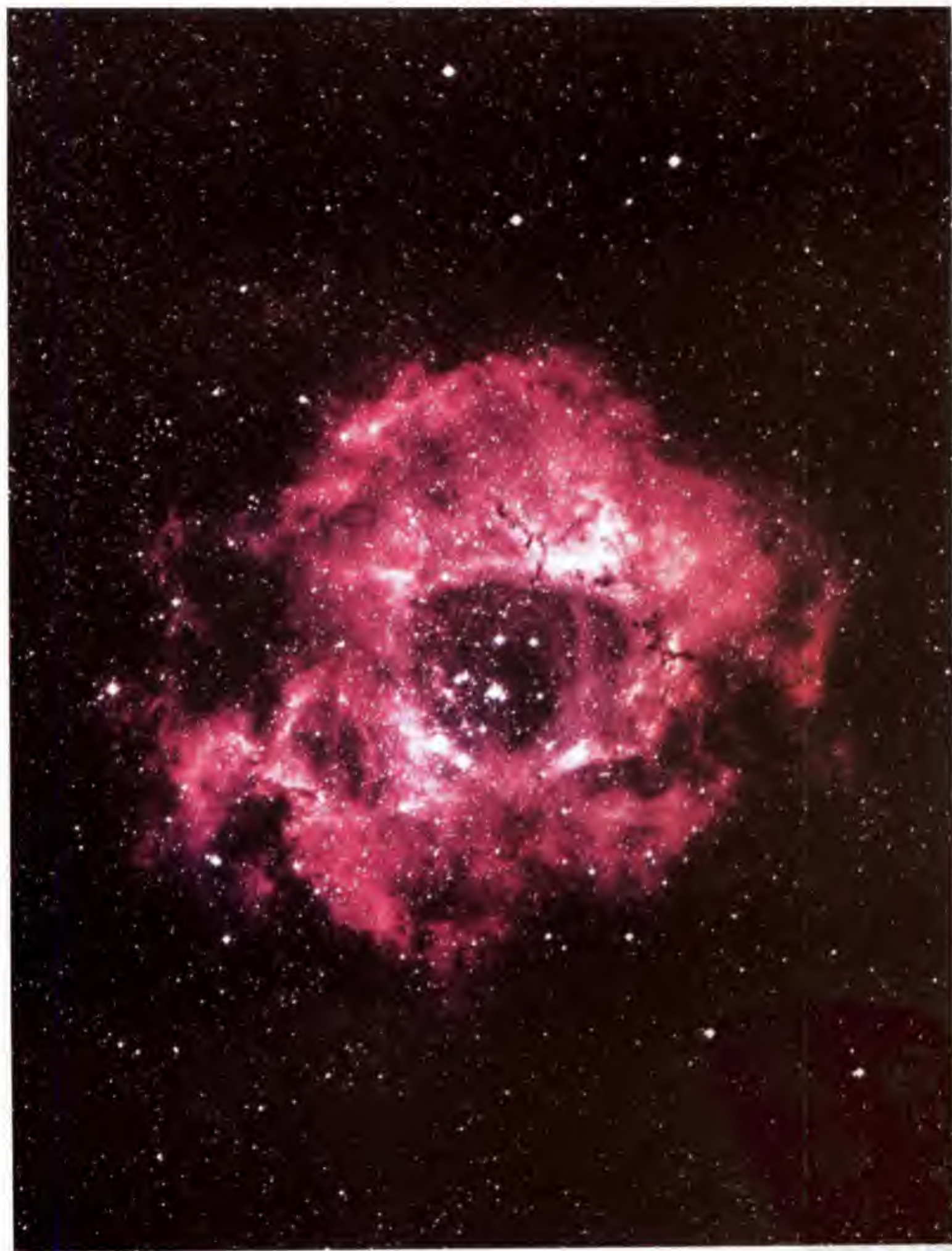
猎户座大星云(M42)

这是最著名的气体星云之一，在猎户座中三星下方，肉眼依稀可见。它也是天文爱好者最爱观测和拍照的天体。它是由气体氢和尘埃组成，受附近恒星的激发而发光。在彩色照片中，猎户座大星云的色彩特别美丽而鲜艳。这里也是孕育恒星的场所，距离为1 500光年。星云的宽度约为太阳系直径的数万倍。



诞生恒星的温床

在巨蛇座中的气体星云M16鹰状星云中，有一个恒星诞生的场所，它们就是那些奇形怪状的星云物质。距离5 500光年，照片由哈勃空间望远镜拍摄。



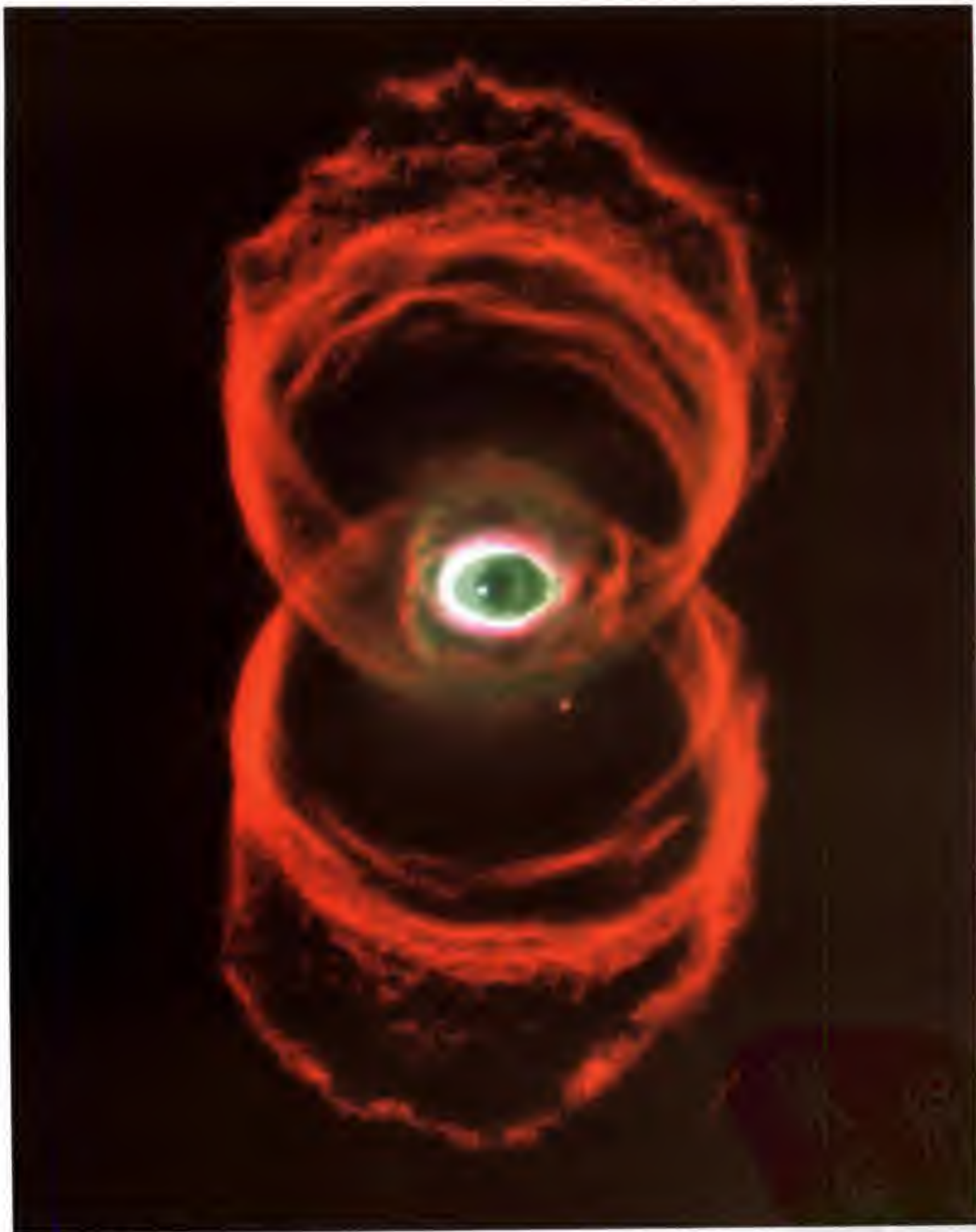
玫瑰星云

距离 4 600 光年的气体星云，形似开放的玫瑰，美观可爱。星云中央明亮发光的是在放射紫外线的刚刚诞生的恒星。在紫外线照射下，星云物质呈现红色，这里恒星有的已经诞生，有的还正在孕育之中。



船底座 η 星

距地球 3 600 光年，质量约为太阳的 100 倍，物质不断抛出，这大约是从 150 年前开始的，当时它是南天最亮恒星之一。它是太阳系以外最亮的红外天体，也是一个射电源，产生出最大的星风。哈勃空间望远镜拍摄。



奇特的沙漏星云 MyCn18

位于南三角座的行星状星云，距离8 000光年，形状好像古代用沙子在瓶中徐徐下漏而计时的工具，在天体中十分罕见。有人推测形成的过程是恒星喷射出的物质，气体的速度在赤道方向和两极方向不同而造成的。哈勃空间望远镜拍摄。



鼎鼎大名的仙女座星系 M31

它是我们银河系的近邻，大约由 2 000 亿颗恒星组成，距离约 250 万光年。也就是说当它的一束光线在 250 万年前出发时，地球上的人类刚刚诞生。在对它 深入观测研究后我们的宇宙观才从银河系扩展到河外星系和更大尺度的宇宙空间。



波江座形态完美的旋涡星系 NGC1232

直径 20 万光年，比我们的银河系约大一倍，距离有 1 亿光年之远。在中心部分有若干类似太阳的中老年恒星，而在旋臂上有很多诞生不久、发蓝光的星。

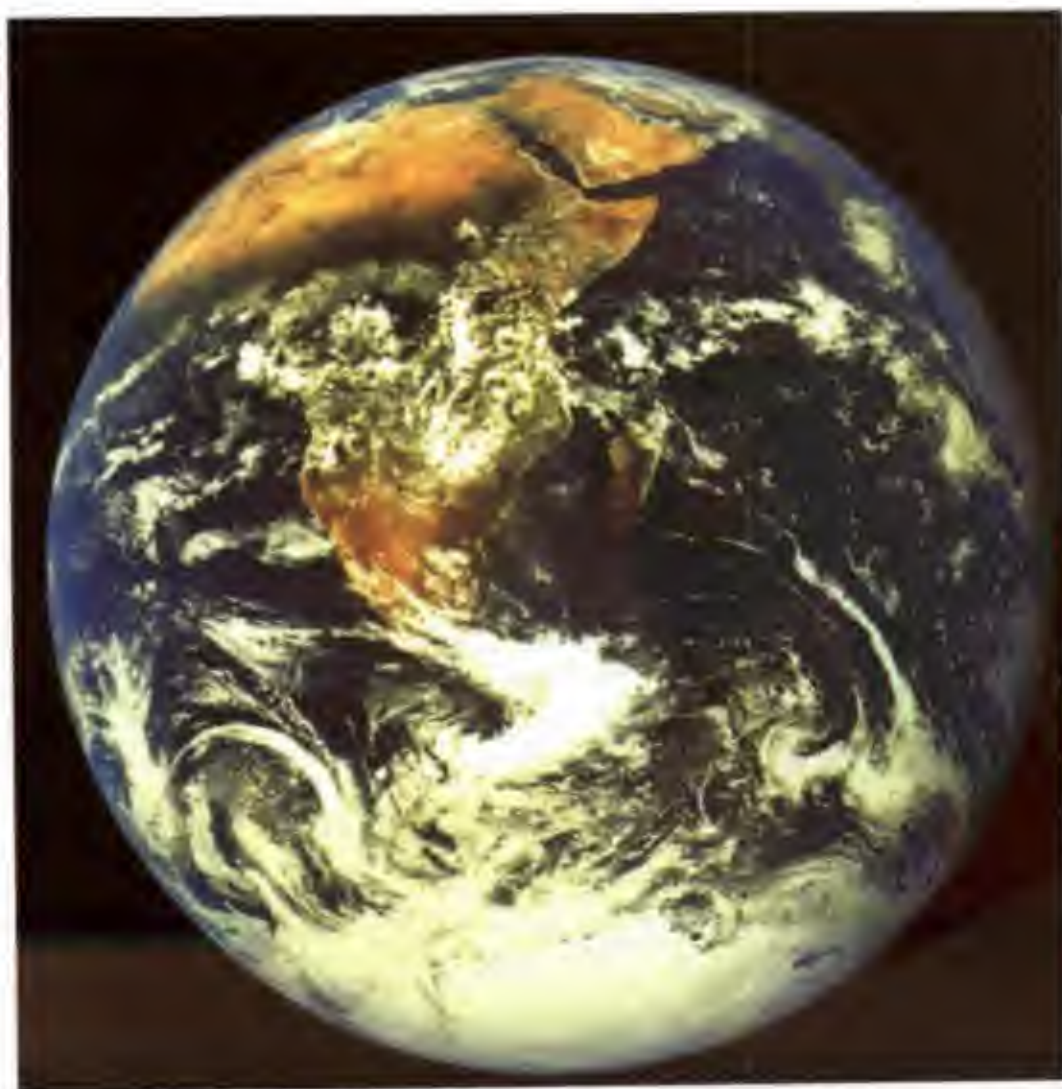


夏季的地球(上图)

从地球的卫星照片上看到顶端正是处于阳光普照的北冰洋。左中部是中国，右边是太平洋，底部是澳洲，显示夏至附近的地球。

冬季的地球(下图)

登月归来的宇航员在途中拍下了这张冬至刚过的地球照片。底部的南极大陆展现在阳光下，左上的非洲大陆明显可见。



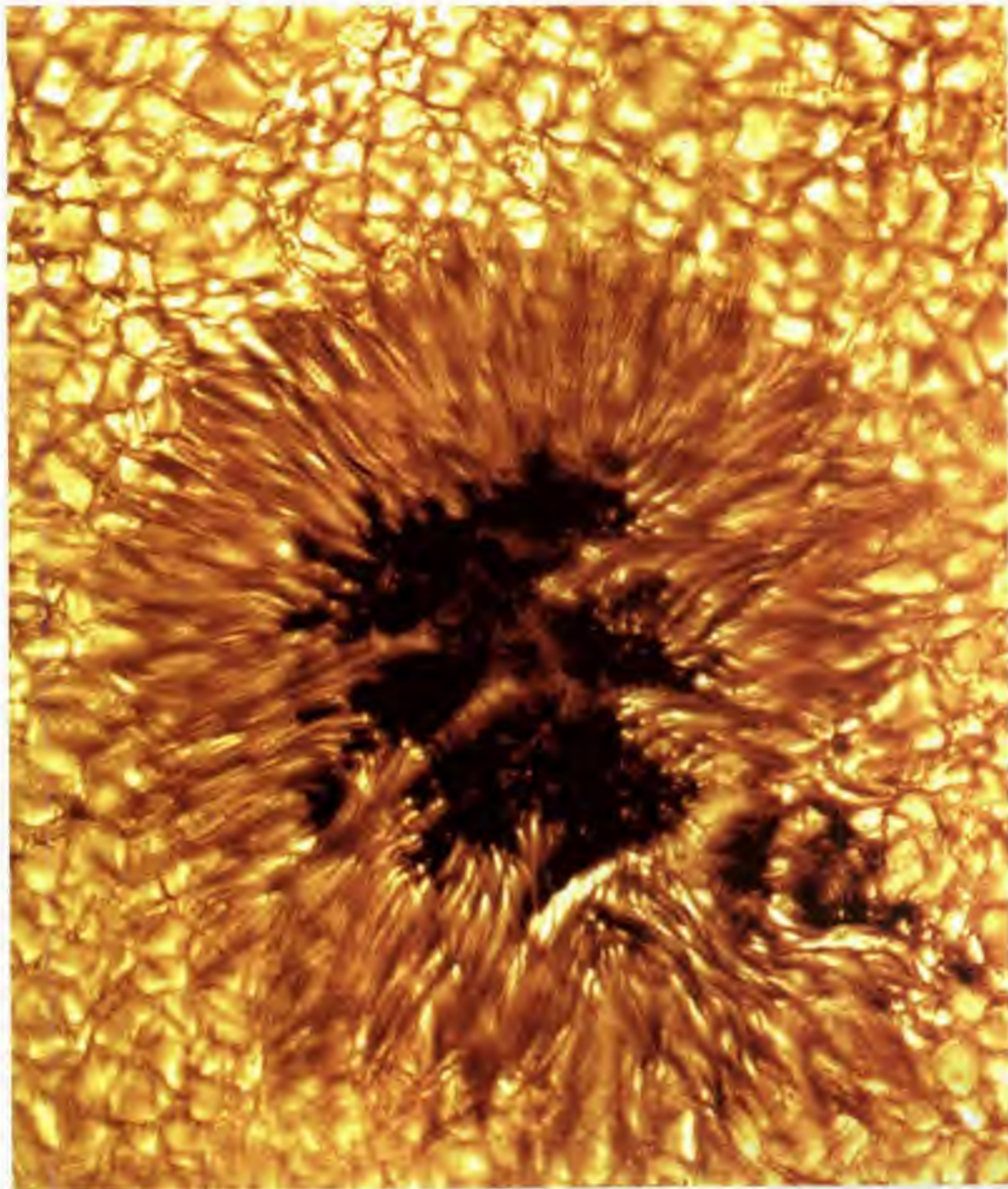


地球自转的“脚印”

把照相机向着天空中的南极长时间露光，恒星由于地球自转在底片上留下了许多圆弧，就是地球自转的“脚印”（指向天北极时也能得到类似的效果）。



暮色西垂，新月如钩，望远镜中，山影清晰，魅力无穷。



太阳黑子和米粒组织

这张异常清楚的太阳黑子照片，显示它的结构和周围的米粒组织。每个“米粒”的直径约有1 000千米，它们上下翻滚，奔腾不息。



火星在召唤

火星是对人类最有吸引力的行星，人类将在21世纪登上火星。火星比地球小，但它有太阳系最高的火山(24千米)，还有长达4 000~5 000千米的大峡谷，从这张用大量照片拼合成的火星图上可以明显看出。



木星和它的四大卫星

太阳系中最大的行星木星，共有 39 颗卫星，照片中部是木星，左上为木卫Ⅳ，右上为木卫Ⅲ，右下为木卫Ⅰ，靠近木星的为木卫Ⅱ。这是“旅行者”1号探测器拍摄的拼合照片(不代表真实大小)。四大卫星被命名为“伽利略”卫星。

前 言

有人要我将这本天文学简史翻译成英文的时候,我迟疑了一下。这本书首先用法文写成,1951年在法国出版。^①六七年前我写这本书的时候,已经有30多年没有这样的书出版了,特别是没有人将天文学的历史叙述到20世纪。

那时候英国的情形也差不多,这方面的主要参考书,我想比法文本还要落后。可是自1951年以来,英文本已经出现几种好的天文学史(原作或译本),我便考虑把我这本书译成英文是不是还会有什么作用。可是当我仔细阅读了这些用英文写的天文学史之后,便感觉到我这本书的观点与内容和别人的差别很大,是值得翻译成英文的。

一个理由是我特别注重观念的演变(人类用智慧掌握宇宙的逐渐进展和重要发现在哲学上的影响),而不太注重个人传记的叙述。我感觉一般的天文学史描写大天文学家的生活太多,那样便会歪曲了天文学发展的实际情况。天文学的发展是缓慢的、连续的进步,而不是片段的伟大“启示”的产品。牛顿说得好:“我所以比别人看得远一些,因为我站在许多巨人的肩头上。”

我有时也感觉到一般书中的叙述是有所偏重的,材料的选择也是缺少判断的。例如古人的玄想的叙述、无数的月面图画和行星观测的回顾,在现今许多书里占了主要的地位,这也许对于想要知道细节的读者是有趣的,但是在这本只用几百页篇幅来叙述整个天文学史的书中,我们只能给读者以一个概括的观念,至于那些细节便只好从略了。

还有,为了避免与前人的著作不必要的重复,我在叙述近代天文

^① 法文本原名: *L'Esprit de l'Homme à la conquête de l'Univers - L'Astronomie, des Pyramides au Mont Palomar*, 巴黎 Spes 1951 年出版,共 256 页(归入 *L'Homme dans l'Univers* 丛书内)。

学的几章里多费了一些笔墨,特别是最末一章(第七章)关于第二次世界大战后天文学的进展是还没有人写过的。书末文献也是重新校订和扩大了。

一至六章的翻译得帕杰耳(B. Pagel)博士的协作,手稿的编排承西莫瑙(G. V. Simonow)夫人的帮助,都是我要感谢的。

伏古勒尔

澳洲斯特朗洛山 1956 年 12 月



译者序言

天文学在科学发展史上居于领先的地位。我们对于人类怎样使用智慧去掌握宇宙的规律,以及它们在哲学上所产生的影响,都应该具有一般的认识。本书重视科学思想的演变,而极少个人传记的叙述,使人读后能明确地认识科学的发展是人类集体劳动积累的结果,而不仅仅是少数个人的成就。本书内容着重在近代天文学史,叙述扼要而明晰。古代希腊和中世纪的天文学史简略的叙述在第一章内,其余6章都用来描写天文学自哥白尼以来的发展,至于20世纪不满60年的天文学史的阐述,占了全书一半的篇幅,更为本书的特色。本书中对天文学发展最重要的阶段,常引用天文学家本人的词句来说明问题,使读者能更深切地了解近代天文学和宇宙论的意义。第六章内公允地讨论了近代宇宙论各派的争辩,不但使读者明了现在的情况,也可以展望未来。

本书是一本历史性的书籍,原作者是法国人,取材和观点不够全面的地方是有的,如:对我国古代天文学的成就,叙述就异常简略;我国比欧洲人早就发现的重要天象(如太阳黑子)也没有提到;阿拉伯人的天文知识在13世纪由蒙古人传入我国,虽是事实,但那时候郭守敬、王恂等人所创立的授时历法,纯然是在我国原有天文知识的基础上作出的辉煌成就,并没有受到回回历的丝毫影响^①;对于宇宙是无限的思想,本书中并无阐述;至于宇宙膨胀说,现今还没有得到天文学界一致的承认,作者推崇为19世纪后半期天文学上重要的特征,只能认为是个人的见解。对这些问题,译者在译文中都尽可能加上注解。

本书是一本好书,不但可供业余天文爱好者阅读,也可供天文工作者参考。

^① 参看钱宝琮:《授时历法略论》,载《天文学报》4卷2期,1956。

目 录

前言	(1)
第一章 古代天文学——自起源至中世纪末尾	(1)
1. 天文学的起源	(1)
2. 中国、迦勒底和埃及的古老天文学	(3)
3. 原始民族的宇宙观	(4)
4. 希腊人的天文学和宇宙观	(6)
5. 亚历山大学派与方位天文学的开始	(10)
6. 中世纪的天文学	(18)
第二章 哥白尼的改革与 16 和 17 世纪经典天文学的诞生	(22)
7. 哥白尼	(22)
8. 伽利略	(25)
9. 第谷·布拉赫	(26)
10. 开普勒	(29)
11. 牛顿	(31)
12. 17 世纪其他天文学家	(33)
第三章 经典天文学的兴起:17 世纪末至 19 世纪中的方位天 文学与天体力学	(41)
13. 哈雷	(41)
14. 布拉德累	(43)
15. 拉卡伊与拉朗德	(47)

16. 地球的测量	(48)
17. 太阳的距离	(52)
18. 天体力学的进展	(54)
19. 天王星和小行星的发现	(56)
20. 海王星的发现	(59)
21. 月亮的理论与水星的运动	(61)
 第四章 18 世纪末至 19 世纪中近代天文学的诞生	(63)
I. 恒星系	(63)
22. 先驱者	(63)
23. 威廉·赫歇耳	(67)
24. 约翰·赫歇耳	(73)
25. 贝塞尔	(76)
26. 斯特鲁维	(79)
27. 阿格朗德尔	(81)
28. 罗斯爵士	(83)
II. 太阳系	(85)
29. 月亮与行星的观测	(85)
30. 彗星与流星的研究	(91)
31. 太阳的研究	(95)
 第五章 19 世纪后半期近代天文学的兴起和天体物理学的诞生	(103)
32. 天体物理学的先驱	(103)
33. 太阳的研究	(108)
34. 月亮与行星的研究	(117)
35. 彗星与流星的研究	(119)
36. 恒星的研究	(122)
37. 星云的研究	(130)

第六章 20 世纪天体物理学的兴起与二战前现代天文学的进展	(136)
I . 太阳系	(136)
38. 太阳的研究	(136)
39. 行星与卫星的研究	(144)
40. 彗星与流星的研究	(152)
41. 天体力学与方位天文学	(155)
II . 恒星系与宇宙	(158)
42. 恒星的研究	(158)
43. 银河系的研究	(167)
44. 河外星系的研究与宇宙膨胀	(173)
45. 近代的宇宙论和宇宙演化论	(181)
第七章 当代天文学:二战后现代天文学的进展	(187)
46. 仪器的改进	(187)
47. 天体测量与天体力学	(195)
48. 太阳系物理	(205)
49. 恒星物理	(220)
50. 银河系的研究	(228)
51. 河外星系的研究	(236)
52. 射电天文学	(244)
人名索引	(255)

第一章 古代天文学——自起源至中世纪末尾

1. 天文学的起源

天文学究竟起源于何时,因年湮代远,已经不可稽考。留传到今天的遗迹,有埃及的金字塔、亚述的石碑和中国古书的记载,都可以上溯到五千余年以前,足以说明在古代民族里已经有了一些简陋的但是经典的天文知识。再追溯上去,还可以找到星座(如大熊星座)的图画,雕刻在洞穴的石壁上面。

当人类的智慧进步到超过一般动物的时代,他们就不能不注意到天穹上永恒的现象和日月星辰伟大的运动与和谐。

自然,天文学也像其他科学一样,从人们生活上的需要出发和原始人对于自然现象的恐惧而发展起来,所以许多年代以来,天文学和算术、几何学、占星术以及原始部落的宗教信仰、哲学理论等都有着密切的联系。

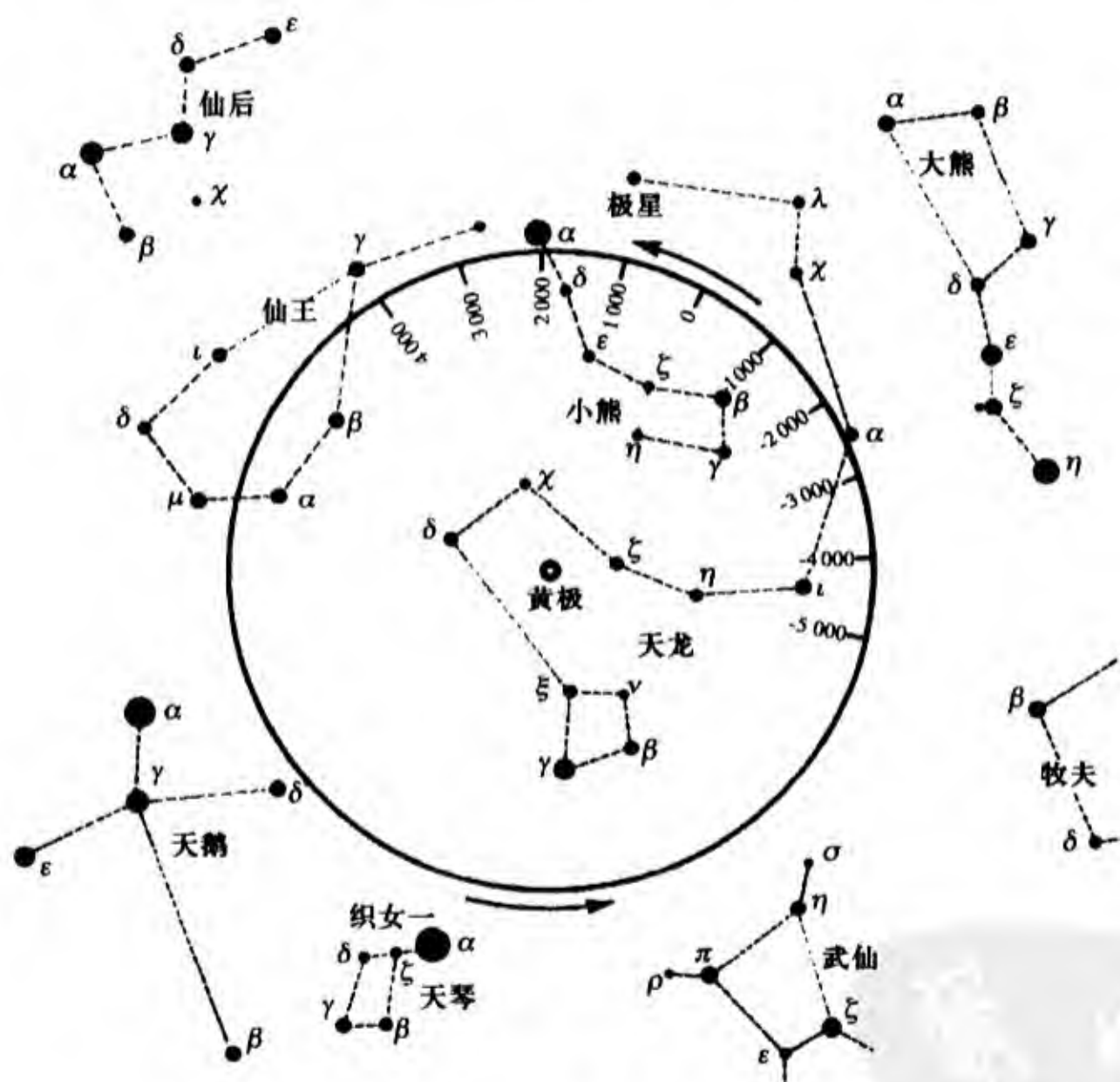
日、月、星辰有规则的周日运动和升落,月亮的盈缺和周期,月亮在星星间的运行,天穹上星星所形成的永恒结构(星座),其中有一些随季节或隐或现,有一些永远闪烁在北方^①,这一些零碎的天文知识,远在有历史记载以前,人们已深深地领会了。

因为人们将天文学的知识应用到航海^②上去,并且拿它来决定适

① 拉丁文“北方”(septentrio)一词源于“七牛”即从北斗七星而来。——译注

② 因太阳的升落而有东西的方向,因日中的位置而定通过南北的子午圈。

宜于耕种与收获^①的季节,以及太阳在人们生活上所起的主宰作用,人们便衷心信服天上的星辰是具有无上威力的神灵,可以赐福或降祸于人,于是便把许多天体和人们的命运联系起来,因此产生了预言灾祸的魔法师和僧侣,他们的职务是劝人献祭祀神,祈求福泽,避免天怒。这可能是远古时期太阳崇拜、有长老尊卑的宗教和占星术等的起源。



天北极对于恒星不是固定的(在 25 780 年内它走了一个圆周。图上注明公元前 5000 年至公元 4000 年的北极位置,这样也可以看出地轴方向的长期变化)。

^① 如古代埃及人观测天狼星和太阳同时升起,而预测尼罗河的泛滥。

2. 中国、迦勒底和埃及的古老天文学

引起原始人恐惧心理的是他们认为扰乱事物秩序的现象,如暴风雨、雷电和罕见的日食与月食等。日食骤然剥夺了太阳的温暖,月食劫去夜里的亮光,经人解释为不测之灾祸的预兆。至于更罕见的大彗星,因为它们形似刀矛,人们便毫不怀疑地把它当做是上天愤怒的标志。

由此可见,原始人注意天体观测,显然是从实际生活的需要出发的,中国、古埃及与迦勒底的帝王雇用僧侣、占星家和天文学家,目的在于想知道他们个人的命运和统治人民,而绝不是因为他们热爱知识或提倡科学。就是这样,从很早的时候起人们便辛勤地和密切地去观测天体了。

担负观测任务的人固然又荣耀又舒服,但是这这也是一个危险的职业,一旦任务没有完成,灾祸便会降落在他们自己身上。据说公元前 24 世纪,中国有羲、和两位天文学家因沉湎于酒,未能预报日食使帝王早作准备,他们便遭受断头的^①惩罚。



中国古代星图

绘制于公元前 168 年以前,长沙马王堆汉墓出土帛书所载。

^① 这是指中国《书经》中《胤征》一篇,所记的是夏朝仲康时代发生的故事。——译注

我们可以设想,从那时以后天文学家怎样注意日食,努力预测这现象的重来!因此日食的记录从很远的时代起,便流传下来了。

从尼尼微(Nineveh)废墟里所发现的亚述石碑,有的年代远在公元前一两千乃至三千年,上面刻有日食和月食的记录,以及这些现象对于当时皇帝的预兆。这些石碑上还刻有行星的运动、月相和太阴历。

可是,古埃及人对于日月的记载很少,可见他们不太注意日食,但却很喜欢研究历法、季节和用天文的方法测定方向。公元前20或30世纪里,每年天狼星偕同太阳东升以后不久,尼罗河即发生泛滥,因此古埃及人很留心观测这个现象。

对于这个现象不断的观测,经过若干世纪,使埃及人测定一年大约有若干日,这是太阳在繁星间复回到相同方位所需的时间,这周期在公元前50世纪定为360日,但不久便改正为365日。

金字塔表现古代埃及人在天文观测上的能力,就其方位来说,早期修建的几座精确到几度,后期几座精确到几十分之一度。金字塔的方位无疑具有宗教上的意义,也许安置在某一特殊的方位上,死去的帝王可以得到安息,或者有利于他的灵魂的升天。还有人以为这些建筑物同时是僧侣们的庙堂与观象台。事实上经人证明,大金字塔的北面主要隧道正指向天龙 α 星,这颗星在金字塔修建的时代(公元前3400年),正是当时的极星。为什么要这样建造,它的用意就不得而知了。

可是有些缺乏批判精神的作家,在金字塔的大小和他们自以为是惊人的科学知识两者之间,发现了许多显著的关系,不过只是一些空想而已。

其他民族在占星术方面的知识 with 信仰,有许多是类似埃及人的,例如凯尔特人(Celts)安放巨石的方向,玛雅人(Mayas)与印加人(Incas)建造太阳庙的方向,都和埃及人建修金字塔的情形相同。

3. 原始民族的宇宙观

原始民族对于世界体系的见解,表现他们科学知识的浅陋,自然因为他们受了地方的局限性和宗教信仰的束缚。概括说来,原始民族的宇宙观世界各处是一样的,他们只将很明白的自然现象加以简单的解释,例如看到地平线的形状,便把地球看成是平坦的圆形,埃及人甚

至把地看做是像田野的方形。他们以为地漂浮在水的上面,四周为海洋所包围,上面是帽形的天穹,神仙的车辇驶行其上,天穹上有水,下落为雨。

有些民族(例如中国人和希伯来人)以为地立在柱上,有些民族(例如印度人)以为地负在象上^①,地下有孔穴,是死人所居住的地狱。

自然,每个国家都把自己当做是文化的中心,因而位置在地面的中央,只有“野蛮人”才放逐在四周。帝王总把自己当做是“天的儿子”,上帝在地上的代理人,因而他的权力得到保障与巩固。

异常的天象,特别是日食与月食,被看做是恶魔在作怪,龙或蛇在和日神或月神战斗。因此,届时人们应该大声呼救,吓走妖魔来救赎维护我们的神灵。^②

这些看法,都是由于原始想像、神秘观点以及经济组织和社会制度而产生的。把这些令人发笑的故事,加



古代的黄道星座神话像

① 至于这些柱头立在何处便没有下文了,那些象却说是站在巨大的龟背上的!

② 一直到19世纪及以后,中部非洲、小亚细亚、上埃及、印度支那、马来亚、马达加斯加等地的一些民族,在日食的时候所有居民冲出户外,击打器皿、呐喊、放炮,喧嚣无比。

以详细的叙述,好像没有什么意义,可是我们想到即使在今天号称文明的时代里,还有很多(至少有四分之三)人的宇宙观和宗教信仰,基本上和原始人的看法没有多大差别,这便足够引起读者的注意和考虑了。

4. 希腊人的天文学和宇宙观

古代民族观察天象,只从实用的或神秘的观点出发,而且对于观测只知叙述,除了附会上神话的故事之外,并不加以解释。希腊人自公元前4世纪以后,首先从非功利的观点,使用科学方法,来研究天体的现象与运动,他们只想追求一个合理的解释,并不企图去推测未来的天象。

人类的思想方法从神秘的,骤然改变为理性的,因此被叫做“希腊人的奇迹”;文化的演进由追求实际,产生了“工作的人”,到追求理论,更产生了“智慧的人”。

这种根本的改变,原因虽不得而知^①,但结果却异常重要,因为它不但发展了天文学,而且整个西方文化都从这里产生。

我们在这里概括地叙述一下希腊人的天文学,以及从他们争辩的各种哲学派别里所遗留给后人的知识。

(A)爱奥尼亚学派(公元前五六世纪)是小亚细亚米利都地区的泰勒斯(Thales)(约公元前640年~公元前560年)所创立的。这位几何学家^②和哲学家的主要贡献是将他旅行中所搜集迦勒底人和埃及人的知识与天象观测,介绍到本国去。据说他曾经预言了公元前585年所发生的一次日食。这次预言的成功如果不是偶合,便是他根据迦勒底人对于日食循环有18年的“沙罗周”所推算出来的,因为迦勒底的占星家在公元前7世纪便会预测日食。但是我们不能确切证明泰勒斯真正具有这一种知识。日食的预测可能是由迦勒底人根据2000年间的观测(见§2)所发现的周期,因为他们对于这天象的原因还不明白,自然他们不能像近代人这样去作可靠的预测,可是在事实面前,他们

① 根据苏联古希腊史专家谢尔叶夫的意见,这一历史现象是可以从奴隶社会的经济因素和阶级斗争去说明的。——译注

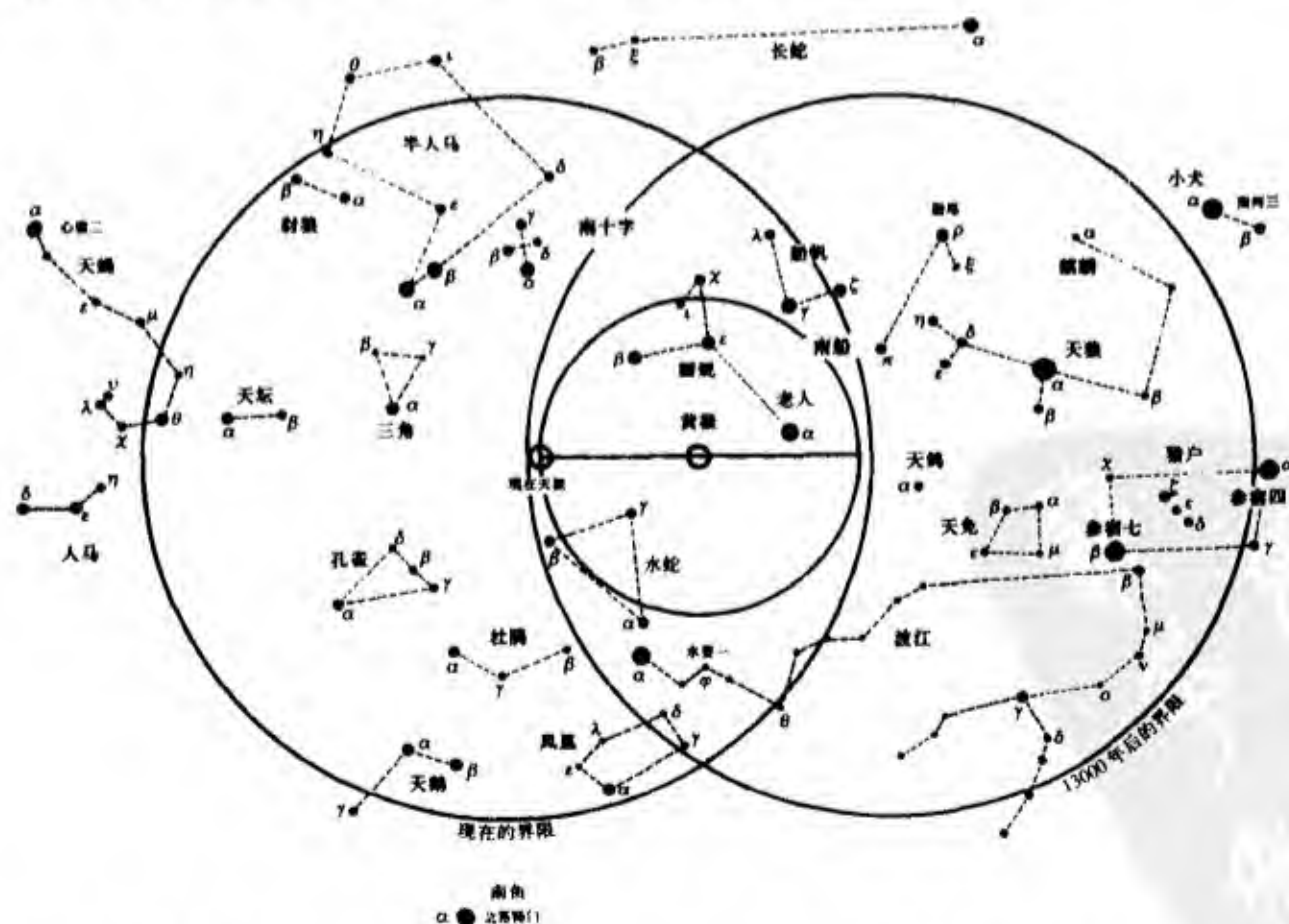
② “三角形内角之和等于两个直角”这个定理有人把它叫做塞利斯定理。——译注

竟能获得成功,那更是值得我们称赞的。

除此以外,泰勒斯的天文知识并不超过他所旅行过的国家的水平,他的宇宙论也不表现他有更高的科学成就。

他的继起人有阿那克西曼德(Anaximander,公元前 610 年~公元前 545 年)、阿那克西米尼(Anaximenes,公元前 565 年~公元前 500 年)、赫拉克利特(Heraclitus,公元前 540 年~公元前 480 年)和阿那克萨哥拉(Anaxagoras,公元前 499 年~公元前 428 年)。他们的见解虽然也很浅薄,但显然有了进步。他们以为地是薄薄的圆片,漂浮在空气的旋涡里,孤立 in 球状宇宙的中心,日、月与行星在它的周围循圆周而运行。这些天文学家相信恒星比太阳和月亮还更接近地球,恒星是嵌在晶莹球上的金钉。他们首先决定日、月、星三种天体的距离(各为地的直径的 9、18 与 27 倍),但是我们却不知道这些数字是怎样得来的。

阿那克萨哥拉于公元前 450 年到雅典讲学,他根据上面这些浅薄的见解,主张月亮有希腊的佩累蓬内城(Peleponnesus)那样大,太阳还要大些。他竟因此被他的仇敌控告为亵渎神灵,被判死刑,幸得他有力的门徒佩利克耳的救赎,才被放逐,死于小亚细亚。



巴黎所看见的北天拱极星的界限[今天的和 1300 年后(或 1300 年前)的情形]

阿那克萨哥拉的另外几点大贡献便是:1.他以为月亮和行星都像地球是岩石的结构,他甚至相信月亮上是可以住人的;2.他推证月亮因反射太阳的光而明亮;3.月食是因为月亮运行到地影里去。据说他是第一个主张虚灵的和一神的哲学家。因当时的人信奉阿林比克多神教义,所以他被控告为无神论者。

(B)毕达哥拉斯学派(公元前6世纪~公元前4世纪)的建立,约在公元前540年间,地点在意大利南部的克罗汤纳(Crotona,即今日的塔兰托),创建人是萨莫斯(Samos)地区有名的几何学家毕达哥拉斯(Pythagoras,约在公元前580年~公元前500年),这学派是一个宗教的和哲学的秘密组织。经过了2500年,毕氏仍然代表算术(乘法表)和几何学(毕达哥拉斯定理^①)的奠基人之一,可是他当时的生活和工作,特别是他在天文学上的成就我们知道得不多。据说他曾在埃及求学而且发现地是球形的、黄道和赤道的交角以及日食、月食发生的原因。

事实上这些成就应当是他的门徒和继起者获得的:巴门尼德(Parmenides,公元前520年~公元前450年)、德谟克利特((Democritus,约在公元前470年)与斐洛劳斯(Philolaus,公元前450年~公元前400年)都认识了这些事实,而且给以正确的解释。他们最大的贡献是主张地是球形的见解,他俩的证明方法已是现代人所熟悉的了,那就是:1.出去的船在地平线处桅杆隐没;2.人向南行,南天的星上升,北天的星下沉;3.特别是当人们明白月食的成因的时候,投在被食的月轮上的地球影子是圆形的那个证据。他们也首先说明晨星和昏星同是一颗行星(金星)。

他们这些唯美主义者,以为等速圆运动是最完善的,因而天体的运行必须是这一种形式,日、月和星均遵循同心的圆周轨道围绕地球而运动。最奇怪的是他们将音乐的观念应用到宇宙的运行上面去,建立所谓“天球谐和论”,这是这一学派的主要论点,他们以为诸星球天的半径是和八音的阶程成正比的。他们将天体的距离排列成以下的次序:月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星与恒星。

德谟克利特曾主张天上暗淡的银河带是远方很多恒星的密集现象,这真是值得称赞的一个观点。

但是必须说明,这些重要的观念和他们哲学的偏见与错谬假设混

^① 即直角三角形两腰的平方之和等于斜边的平方。——译注

淆在一起,就难于分辨,而且难于令人信从。

例如要去说明围绕地球的天球和一切天体的周日运动,他们却假设在地球之外还有一个“反面地球”,这颗行星和别的行星绕中心的火团运行,而这火团被那奇异的天体所掩蔽,所以我们不能看见它。在这一系列的天球之外,他们还假想有一个天外之火,这火的热和光由于它的作用似放大镜(希腊人已知用透镜聚日光而生火)的聚集,才可以为人类所利用。

由此可见,我们要将某些发现的功绩归之于古代的哲学家是须得加以批判的。只有经过长期的错误与失败的考验,真理才能出现,终于为人类所掌握。

(C)柏拉图学派(公元前4世纪~公元前3世纪)是继毕达哥拉斯学派而来,为有名的雅典哲学家柏拉图(公元前427年~公元前347年)所建立的。这一学派主张特权的和贵族的政治,引起民主党人的极力反对,因而柏拉图学派中有许多人遭杀戮或被驱逐。

柏拉图学派中的主要天文学者当推柏氏的门人欧铎克色斯(Eudoxus,公元前409年~公元前356年)、亚里士多德(Aristotle,公元前384年~公元前322年)与赫拉克利德(Héraclides,公元前388年~公元前315年)。

他们仍然主张球形的地固定在宇宙的中心。从那时起,经历了2000年,地静的理论经亚里士多德学派权威的支持,成为哲学上的不能非难的学说。

他们以为天体环绕地球作圆周的运动,欧铎克色斯用几何学的方法说明这些运动,大致可以代表行星的观测位置(对于火星却不很成功)。可是这结果是经过极复杂的结构(55个天球之多)才得到的。

欧铎克色斯和亚里士多德的宇宙体系与以后要讲的托勒密的主张是不同的,我们不能混为一谈,事实上欧、亚两人的宇宙观远在托勒密之前便被人放弃了。我们还须谈一谈这一学派里最后一位重要人物即赫拉克利德的成就,他在公元前4世纪的后半期就以地球绕自己的轴旋转,每24小时为一周,去解释天球的周日运动。有人甚至以为他发现了金星环绕太阳而不是环绕地球运行。这种不合常规的见解,被别人认为是推证上的错谬,而不是独到的创见。

5. 亚历山大学派与方位天文学的开始

在希腊文化极盛时期,天文学成了数学的研究,宇宙论的基础便构筑在迦勒底人和希腊人的观测上面。公元前4世纪,在亚历山大帝国崩溃以后,因有开明的王子们的支持,在地中海岸埃及的亚历山大城建立了一个重要的文化中心。科学的精密观测的风气,蔚然兴起,作出一系列可称道的研究,奠定了经典方位天文学的基础。

在科学史上这第一次建立的科学机构,配备有特殊的建筑和宏大的图书馆,经费由国库开支,到这个天文台来工作的学者们,得以安然从事纯粹的而非功利的研究。

这一座有名的学府为亚历山大的一员大将托勒密所建立,存在了1000年之久。罗马人对科学不感兴趣,可是他俩征服尼罗河流域(公元前1世纪)以后,却尊重这一个文化中心,仍然给予学者们一向享受的待遇和研究上的便利。但是我们也需要指出自罗马人占据埃及以后,天文学上便没有有价值的贡献了。

早期在亚历山大大学工作的学者中,我们应该提到的,有著名的数学家欧几里得(Euclid,约在公元前300年),他所著的《几何原本》一直延用到今天。

公元前3世纪的天文观测者就我们所知道的有阿里斯提吕斯(Aristillus)和提莫恰里斯(Timocharis)。他们所用的仪器简陋,所作的观测很不精确,他们所观测的对象有一些恒星、冬至和夏至点,及几次月掩星和一次月食,这一次月食的记录在一个半世纪以后使喜帕恰斯借以发现二分点的岁差现象。

那时的大天文学家好像不在亚历山大工作,可是他们研究的动机却和亚历山大的天文学家相同,研究的成果也彼此交换使用。这些工作都记载在这一学派的最后一位大天文学家托勒密的著作里。

(A) 亚里斯塔克(Aristarchus, 公元前3世纪)

亚里斯塔克生于萨莫斯(Samos)岛,公元前3世纪初在故乡工作。他不但是位伟大的观测者,也是一位天才的理论家,不幸他的著作大部分已经失传了。我们只知道他首先提出一个测定太阳距离的方法,这方法在原则上虽然很巧妙,但在实行上却不精密,这方法是恰在上弦的时候去测定太阳和月亮之间的角距离(图1)。

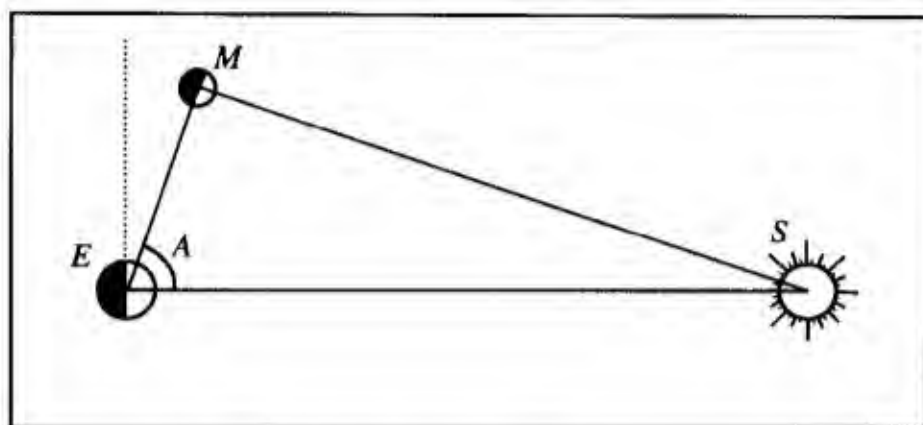


图1 亚里斯塔克测量太阳距离的方法

在上弦的时候,测量太阳与月亮之间的角距离 A ,在原则上就决定了直角三角形 EMS 的三个角,因而可以求得太阳和月亮的距离的比值 ES/EM 。

如果太阳离月亮的距离不是异常大,上面所载的角距离当是比 90° 略小一些,由这一个角的实测值当可以算出这两个天体的距离的比例。亚里斯塔克根据观测求得这个角是 87° ,于是算出太阳的距离是月亮的距离的 18 至 20 倍。这个粗疏的推算(比实际小了 20 倍),由几何学的观点看来,原理非常简明,值得称赞,所以历经 1800 年尚为人采用,一直到经典的天文学建立以后,才有更好的方法去测定太阳的距离。

亚里斯塔克对于测量地球和月亮间的距离,也想出一个巧妙的方法,但在一个半世纪以后才被喜帕恰斯使用在实际的测量上(见 § 3C)。

亚里斯塔克天才的表现,当属他在那遥远的时代里独自主张日心系统的理论。他在哥白尼以前 17 个世纪便说地球是运动的,恒星的距离比地球绕日的轨道更加遥远,为了这些主张,他被人控告为亵渎神灵,自然他的理论也完全被人鄙视。

(B) 埃拉托色尼(Eratosthenes, 公元前 276 年 ~ 公元前 194 年)

这位哲学家、诗人、文法家兼天文学家,实在算得是一位大学者,可惜他的著作没有流传下来。可是我们知道公元前 3 世纪之末他担任亚历山大图书馆馆长的时候,他在学院的走廊里装上用来作天文观测的浑天仪,其中一个表示有黄道和赤道斜交的情况,就是说由太阳周年运动的平面和由天体周日运动所定出的天赤道两者斜交的情况。

他最显著的成就当推他对地球的周长的测量,这个测量所根据的方法简单,所求得的结果精确。据亚里士多德说,地球的周长已经被前人求得约为 40 万希腊里(stadia),约合 6 万千米,埃拉托色尼所求得的



地球和月球大小的比较图

数字精确得多。他的方法是在夏至日,在中埃及的塞恩(Syene,即今阿斯旺)观察日光直射井底,在那一天太阳恰好经过当地的天顶,同时在亚历山大城,用仪器测得太阳的天顶距等于圆周的 $1/50$ 。厄拉多塞内斯明白(图2)这个角等于这两个城在地球上的纬度之差。他于是断言地球的周长等于塞恩和亚历山大之间的距离的50倍,这两城之间的距离经当时的测量定为5000希腊里,于是求得地球的周长是25万希腊里。据研究1希腊里长158.5米,那么这数值便是39600千米,与现今公认的地球的周长4万千米,相差很少。这个非常相近的结果,也许是由于偶合,因为用这种近似的算法和测量上难免的误差,很难达到这样精确的结果。

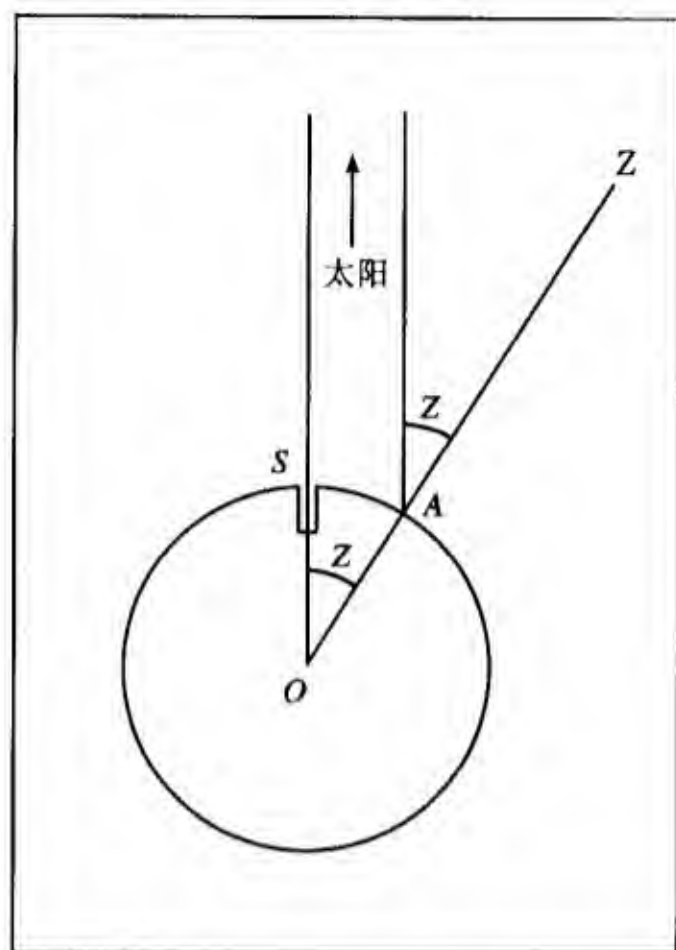


图2 埃拉托色尼测量地球周界的方法

在夏至日当太阳经过塞恩(S)的天顶,照着井底的时候,太阳在亚历山大城(A)中天,那时它的天顶距(Z)等于这两城的纬度之差,与这角度差相当的线距离是AS,因此我们可以求得地球的周界之长。

一百多年以后,在罗得岛居住的波西当尼斯(Posidonius,公元前133年~公元前49年)又测量了地球的周长,他的方法是根据一颗南天的亮星(老人星)在罗得和亚历山大中天的高度,而由其差来计算这两城的纬度之差。他求得数值是24万希腊里,即约38 000千米。求得的这个数值达到相当高的精确度,实在是由于他的计算所根据的两个数字上的误差,彼此相抵消的缘故。

(C)喜帕恰斯(Hipparchus,公元前2世纪末)

喜帕恰斯是古代最伟大的天文学家,他给方位天文学奠定了稳固的基础。

我们只知道他生于比锡尼亚(Bithynia)的尼塞亚(Nicea)地区,曾在洛德岛工作过。

我们从他的承继人托勒密的著作里知道他做了许多研究,例如月亮的周期,白道和黄道的交角的精密测量,白道的偏心率^①和白道的拱点与交点^②的运动的发现等。

他由古代观测的研究,测定四季的长短不等,并且求得一年长 $365\frac{1}{4}$ 日再减去 $\frac{1}{300}$ 日,这数字与现在的误差只有6分钟。

他首先量得月亮的视差,因而求得月亮离地球的距离。他的方法是在月食的时候比较月亮的视直径与地影的直径。他把几个世纪内太阳和月亮的运动编了精密的数字表,他用这些表来推算日食与月食,这是他以前许多代的学者曾经努力而没有能够取得的成就。

喜帕恰斯的成就也是远远超过他的后人的,因为后代的人已经具有高度发展的理论基础,而喜帕恰斯在他的大部分工作上须得自己去创造理论,例如要去表示他的观测,他创造了当时完全不知道的三角学,甚至球面三角学。

他的成就还不只这些。大约在公元前130年间,有一颗新星(更可能是彗星)出现,使他编造了历史上第一个记载恒星的星表^③,他对于这些星在天球上的方位作精密的测量,他的目的是使将来有奇异天象出现的时候,得以确定它的位置,同时可以发现恒星间的相对运动,事实上他确由这一工作发现了这些运动。这个包含有1025颗星的星表,由托勒密所写的一个抄本流传下来,这是一本基本星表,记载恒星在星座里的分布和对它们的亮度(星等)的估计。

经过16个世纪,天文学家不断地重做喜帕恰斯星表的观测工作。在18个世纪以后,哈雷根据喜帕恰斯的观测,发现了恒星的自行(第三章§13)。

同时他将别的观测和他的星表加以比较,使他发现另外一种基本的现象,即二分点的岁差,亦即黄道和赤道的交点的缓慢改位(图3)。这发现是比较他所观测的和150年前提莫恰里斯所观测的角宿一的

① “偏心率”一词在现今是指椭圆的一种性质,但是在古代这个词意思是指天体的圆周轨道的中心对于地球的位移。

② 拱点是月亮轨道上离地球最远和最近的两点,这是由月亮在天球上的角速度的最小值与最大值而决定的。交点是白道和黄道相交的两点。

③ 最古老的星表当推我国的《甘石星经》,书中记载有120颗恒星的位置,是公元前350年~公元前360年间测定的。——译注

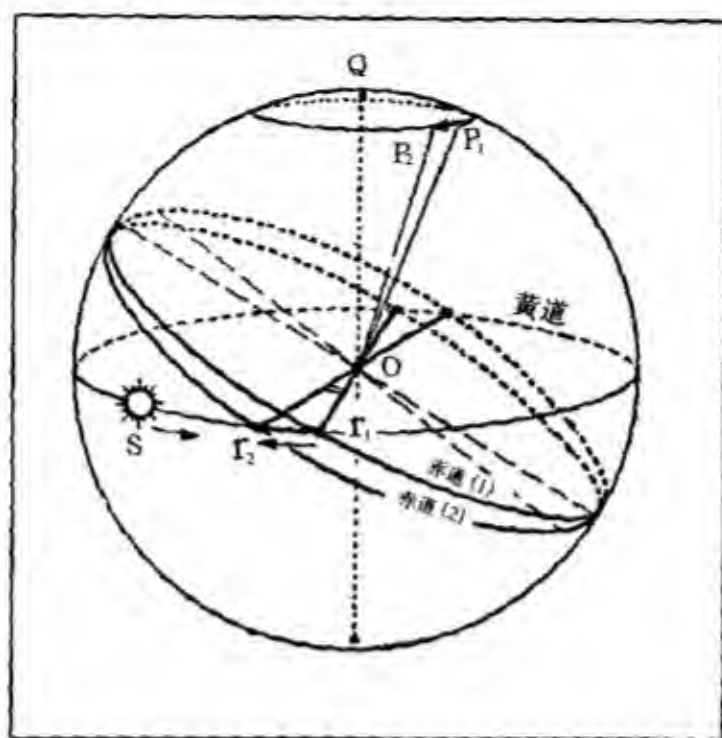


图3 喜帕恰斯发现的二分点的岁差

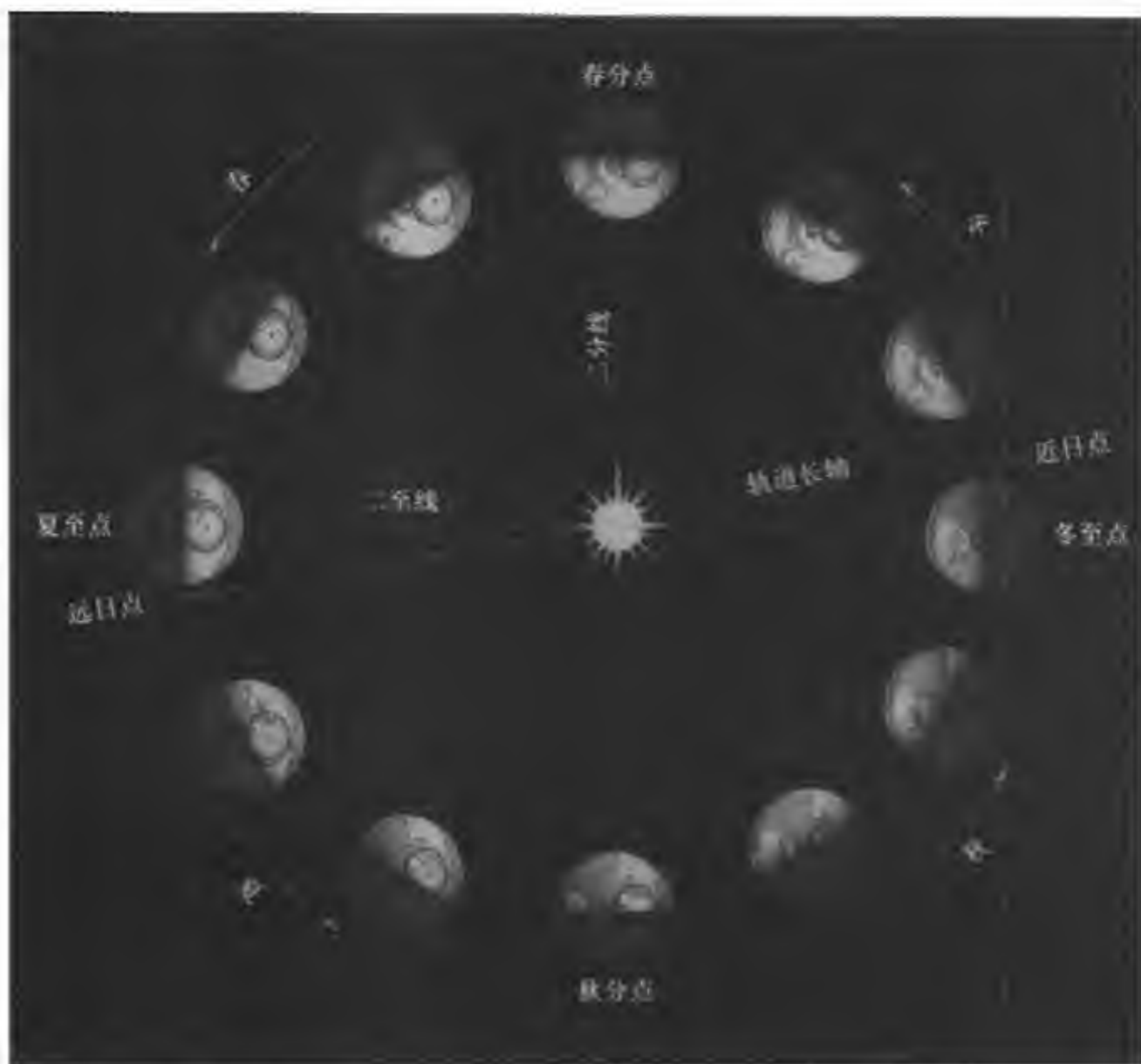
黄道与赤道相交的一点名叫春分点(图中以 γ 表示),岁差使这一点在黄道上有一逆行。这是由于地球的自转轴(图中以P表示天北极)围绕黄道的极运动而来,周期大约是26 000年。

黄经度^①而得到的。从这一观测所求出的岁差是每年 $46''.8$,与根据现今的数值求得当时的岁差 $48''$,相差很少。可是喜帕恰斯过大地估计了观测里的偶然差,只取了他所得的最小观测值 $36''$,作为岁差。

喜帕恰斯为了完成他最大的著作,遗留给后代大量的行星观测和由这些观测定出的行星的各种周期与基数。他还发明以经纬度测定地球上的地点的方法和由极点向赤道面投影的制图方法。综合上面所说的来看,喜帕恰斯实在是知识方面的巨人。他曾被人叫做“天文学之父”,不管怎样,他至少可以算是经典方位天文学的创始人。

有趣的值得提到的一点便是古代对于科学最有贡献的人常常是精通观测的学者,至于亚里士多德的脱离实践的武断的理论曾阻碍科学进步有2 000年之久。

^① 星的黄经度是从月食时恒星和月亮之间的角距离而测定的,地影的锥体的顶点的黄经可由太阳的黄经度确切地算出(两者相差恰是 180°)。太阳的黄经可由喜帕恰斯的太阳运行表算出。



地球围绕太阳的周年运动

这是一年内地球接收日光的情况。为了清楚起见,图中表示的地球和太阳的大小是与实际不相符合的。

(D)托勒密^① (Ptolemy, 公元后 2 世纪)

自喜帕恰斯以后历经 300 年,希腊天文学没有什么重大的成就。值得一提的有上面说过的波西当尼斯和亚历山大城的天文学家索西尼斯 (Sosigenes, 公元 1 世纪)。索西尼斯以赞助尤利乌斯·恺撒改革罗马历法 (每四年置一闰日)^② 及发现日月二轮视直径之有变化而著名。

^① 旧译“多禄某”。

^② 儒略历以 $365 \frac{1}{4}$ 日为一年,较之实际长了 11 分钟,在东欧各国沿用至近代。儒略历和季节的差异,到现在达 13 日之多,因此 1917 年苏联的十月(旧历)革命,现今在 11 月(新历)里举行纪念。

喜帕恰斯真正的承继人当是托勒密,他生于锡贝德(Thebaid),在公元2世纪时在亚历山大生活和工作。从他的著作中,我们才知道喜帕恰斯和希腊早期天文学家的工作。他的主要著作名叫《大综合论》(*Megale Syntaxis*),全靠它的阿拉伯文的译本(改名 *Almagest*)流传下来。在整个中世纪里,这本书被人奉为天文知识的经典著作。

经历许久,这本著作里所叙说的发现,被人误认为是托勒密的工作。特别该指出的便是他书内的星表不过是将喜帕恰斯的星表,加上有误差的岁差常数,而改为他那时代的星表。同样以托勒密的姓得名的宇宙体系(图4),其中大部分也不是他的著作。这体系实在是由亚历山大学派的许多天文学家不断努力而作成的,其中该特别指出的有阿波郎尼斯(*Apollonius*),他在公元前2世纪便放弃了实质的、闭合的同心天球的宇宙体系,只根据等速圆运动的理论去表示以地为心的天体运动。他以后的希腊天文学家,特别是喜帕恰斯和托勒密继续这一工作,使用许多几何学的推理,加入一些偏心圆与本轮^①的理论去作解说。这种体系使得理论继不断地在圈上加圈,复杂不堪,以后被人放弃了。因为观测进步,理论不足以说明行星的运动,但是地心系被人抛弃是1500年以后的事。

总的说来,托勒密确是一位好的观测者和一些新的天文仪器的发明人,他曾发现天球的北极在繁星间的改位,这是二分点岁差的结果(参看图3),他还发现月亮运行上不大显著的出差(*evection*^②)现象。他首先认识到星近地平时显然升高,这现象名叫蒙气差或者天文折射,在他以前已经有人猜疑过,托勒密才明确地叙述在他的《光学》(*Optics*)书中。这本书里也记载有光线经过杯中的水发生折射的现象,这是近代实验物理学的一个模糊的先例,这种科学精神是古代人完全不知道的。

托勒密以后,希腊文化完全坠入黑暗。因野蛮人的侵略,罗马帝国崩溃(4世纪末),人们放弃了希腊的知识传统,在基督教义的主宰下,服从古人的权威,采取由希伯来传来的宇宙观(参看§3),天文学和一切科学的发展都受到阻碍。阿拉伯人的侵略,更毁坏了希腊文化在东方的几个中心。公元640年亚历山大城被阿拉伯人攻破,城内图书馆的无价宝藏,包括其中的七十余万卷手稿,完全被付之一炬。

① 本轮是一些辅助的小圆,它们的中心又以等速度在另外的主圆(约轮)上运行。

② 这是由于月亮轨道的偏心率的周期变化所产生的一种摄动。——译注

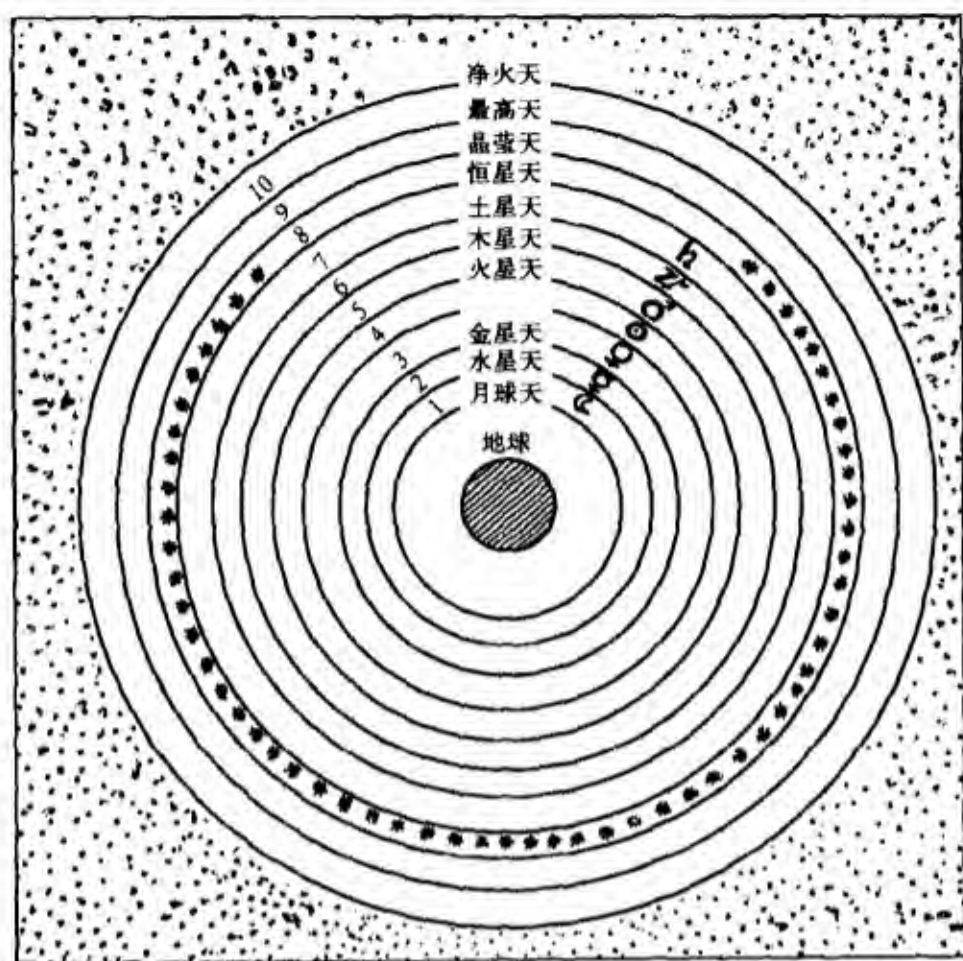


图4 托勒密的地心系
古人的宇宙观的代表

6. 中世纪的天文学

经过了一千多年的长久时期,天文学没有显著的进步,只是将遗留下來的托勒密的著作,作一些细小的补充而已。

惟一值得提到的工作是阿拉伯与蒙古天文学家(或者叫做占星家)所做的,他们因为受了征服者想从星象占卜将来的鼓励,一面搜集希腊人的著作加以研究,一面继续观测,并且改善他们预推天象所需要的有限的数学知识。

在阿拉伯人中有三个学派分布在这个帝国的广大区域之内,他们的活动集中在巴格达、开罗和阿拉伯西部的摩洛哥与西班牙。

(A) 巴格达学派(9世纪~10世纪)

巴格达城建立于8世纪,因占星家的劝告,回教国王阿耳马木恩命令翻译的托勒密的著作,被很好地保存下来。巴格达的御前天文学

家最有名的当推阿耳 - 巴塔尼 (Al-Battani, 858 ~ 929)、阿耳 - 苏菲 (Al-Sufi, 903 ~ 986) 与阿布 - 韦法 (Abul-Wefa, 939 ~ 998)。

阿耳 - 巴塔尼对于太阳的方位作了新的观测, 改进了回归年的长度, 纠正了托勒密的岁差常数, 并仔细测量了黄赤交角。他也将正弦介绍进了三角学。

阿耳 - 苏菲以他的《天文志》(*Uranographia*) 一书而著名, 他重新观测托勒密一喜帕恰斯星表内的星, 他借这一工作核验恒星的相对星等, 他首先对于恒星在天球上的分布作了描绘性的叙述。

阿布 - 韦法刊印过《托勒密集》的原本, 并且发展了三角学。他可能是月亮运动的一种出规现象名叫二均差 (variation)^① 的发现人。阿布 - 韦法以后五个世纪, 巴格达学派无显著的进步; 13 世纪时阿拉伯王国被蒙古人征服, 他们将阿拉伯人的天文知识传播远达中国。蒙古人成了巴格达学派的直接承继者。

蒙古天文学家中值得称道的, 只有乌鲁 - 白格 (Ulug-Beigh, 1394 ~ 1449), 他是残暴的征服者帖木儿的孙儿, 他在他的首都撒马尔罕建立了一个重要的文化中心和—个科学研究院。^②

乌鲁 - 白格在他特别修建的天文台内安装—具巨型象限仪 (半径 60 米), 他观测得黄赤交角, 编制太阳和行星的运行表, 最重要的工作是造了一个包含几千颗星的表, 这是托勒密以后惟—经过实测而编制的星表。他的死亡很足以表明阿拉伯的天文学基本上是占星术的, 并且说明占星术信仰的危害性。1449 年乌鲁 - 白格从星象得知他将被他的儿子杀死, 因此他放逐了他的儿子, 他的儿子因恐惧而发生叛变, 击败了他, 而且杀死了他。

乌鲁 - 白格以后, 天文学在中亚细亚便没有什么进展了。

(B) 开罗学派 (10 世纪 ~ 12 世纪)

10 世纪时北非的摩尔人将东阿拉伯人驱逐出埃及, 建都开罗, 在这新都城—里设置了一个天文研究的中心, 但是他们却向巴格达去寻觅天文资料。当时最出色的天文学家有伊本 - 尤尼斯 (Ibn-Younis,

① 这是由于太阳的摄动在月亮的平位置与真位置上所造成的黄经度的差数。

——译注

② 各时代的征服者喜欢在其统治期间聚集许多天才和学者在他的周围, 希望把他们自己所不能得到的光荣反映在他们的身上。法王路易十四、普鲁士王腓特烈二世、俄国叶卡特琳娜女皇、拿破仑一世、威廉二世等便是近代的几个例子。

? ~ 1088)与阿耳哈曾(Alhazen, ? ~ 1038)。

伊本-尤尼斯是巴格达阿布-韦法的学生,曾经在开罗观测过太阳、月亮与行星,并算出这些天体的运行表,可惜只有这些表的序论一章流传下来,那里面表现出数学上的重要进展。

据说阿耳哈曾曾著书八十卷,后来差不多全部都散失了,惟有他的光学论流传下来,比起托勒密的著作大有进步。

以后没有出色的天文学家,只是到了12世纪在开罗还有为公家供养的天文学家,他们的职务是计算天文年历。

(C)西阿拉伯学派(11世纪~13世纪)

我们只知道这些学派曾经盛行于西班牙和摩洛哥地区,但他的工作我们知道得很少,也不明白他们怎样得着托勒密的典籍。

这些学派的天文学家的姓名流传到今天的有阿尔扎歇耳(Arzachel)。他在11世纪末在陶勒多(Toledo)做过观测,改进了岁差常数。还有在12世纪中期在摩洛哥工作的阿耳珀特腊朱斯(Alpetragius),他反对托勒密体系的复杂性,可是他建议来代替托勒密体系的体系,虽然自称为得自灵感,但是并无优越性,因而没有流传下来。

我们现在要谈到天文学史上的第一个君王,即是卡斯提耳(Castile)的阿方索十世(Alphonso X)。他是阿拉伯天文学家的学生和保护人,他于1252年登位的时候,召令刊印《阿方索星行表》,这些表是由他召集到陶勒多来的犹太和阿拉伯天文学家所编制的。虽然这些天体运行表内混入一些阿拉伯人掺入托勒密理论里的误差^①,可是在一些基本常数(特别是一年的长短)上,这些表里表现了显著的进步。

(D)基督教统治下欧洲天文学的兴起(15世纪)

直到15世纪,在阿拉伯人势力范围之外,基督教的世界里没有什么著名的贡献。在罗马帝国崩溃与文艺复兴之间那一段时期里,古代的知识遗产只在寺院里保留和传授。在那些战乱的年代里,寺院成了和平的与研究学问的绿洲,僧侣们一代一代阅读和翻译亚里士多德的著作,并且根据《圣经》去注释这些著作。托勒密的书籍后来才以阿拉伯文的译本介绍进欧洲。至于阿拉伯人的贡献只是在11和12世纪以后,经十字军东征的影响,才渐渐渗透到欧洲去。

^① 这些误差中可以特别提到的有一种叫做二分点的颤动,重合在岁差的运动上面,阿拉伯人以这一发现自豪,其实这完全是虚假的。

一直到 15 世纪,包括天文学在内的整个科学,才重新出现于欧洲。这一复兴是由于下列几个原因:1.1453 年印刷术发明,使知识易于传播;2.君士坦丁堡被土耳其人攻陷(1453),使希腊的学者们西迁;3.葡萄牙和西班牙人因使用从阿拉伯得来的罗盘针,得以从事远程的航海,因而发现了美洲(1492)。这样就引起了测定经度与船只在海上的位置的天文学问题,因而便在事实上证明了地是球形的,孤立于空中。

15 世纪里值得提起的天文学家不多,举其著名的有:普尔巴赫(George Purbach,1423 ~ 1461),他持有《托勒密集》的希腊原本,自立一种行星的理论。更著名的是他的学生穆勒尔(John Müller,1436 ~ 1476)曾将《托勒密集》翻译成拉丁文,且于 1471 年在纽伦堡(Nuremberg)建立一所天文台,附设有修配工厂与印刷所。他刊印有 1475 至 1505 年间的天文年历,据说曾经为达·伽马(Vascoda Gama)和哥伦布使用过。

最后还须提一下比利时主教尼科拉·德·居斯(Nicolas de Cues,1401 ~ 1464),他首先支持而且主张亚里斯塔克的地动理论,在他同时代的人看来这不过是一种知识的游戏,而他本人亦未能有充分的理由去维护他的信念。地动理论充分的理由要等到哥白尼和他的继起者的工作证实以后,才明白地表现出来。

第二章

哥白尼的改革与 16 和 17 世纪经典天文学的诞生

7. 哥白尼 (Copernicus, 1473 ~ 1543)

波兰梭尔恩(Thorn)城的僧侣尼古拉·哥白尼的伟大成就,应当是他开辟了经典天文学的道路,因此创立了真实的“世界体系”(这体系现在仍然被命名为“哥白尼体系”),开拓了以后一切进步的局面。他的体系于 1543 年刊布在他不朽的著作《天旋论》(《天体运行论》)之中(图 5)。

根据哥白尼的体系,地球和别的行星一样,围绕太阳而运行,惟有太阳才固定在这体系的中心。

这个既简单而又基本的发现,使人们对宇宙的看法从主观的、神秘的、原始的见解,进步到近代的、客观合理的思考。这体系引起一大串思想上的革命,人们从此摆脱对古人的权威的信赖,只依靠事实作为知识的来源,从是否简明与合宜的观点去判断理论的真伪。

事实上,这个宇宙的新理论是逐渐被人认识的,在某些论点上,哥白尼只是重新倡导希腊人的传统知识。哥白尼在意大利求学的时候曾经博览古人的哲学和科学书籍,他并没有忽视古人的成就,他假借它们来支持他的理论。他说得明白:因为他熟读他们的著作,才使他去讨论地球的运动,并且探寻根据这样的一个假说,是不是对于天体的运动,可以得到一个比托勒密体系表现的更单纯的解释。

他说:“我从这个观点出发,也开始想到地球可能是在运行的。虽然这见解看上去好像是荒谬的,但是在我以前已经有许多人随意想到运行的轨道,去说明天体的现象。因此人们也该允许我去设想地球是

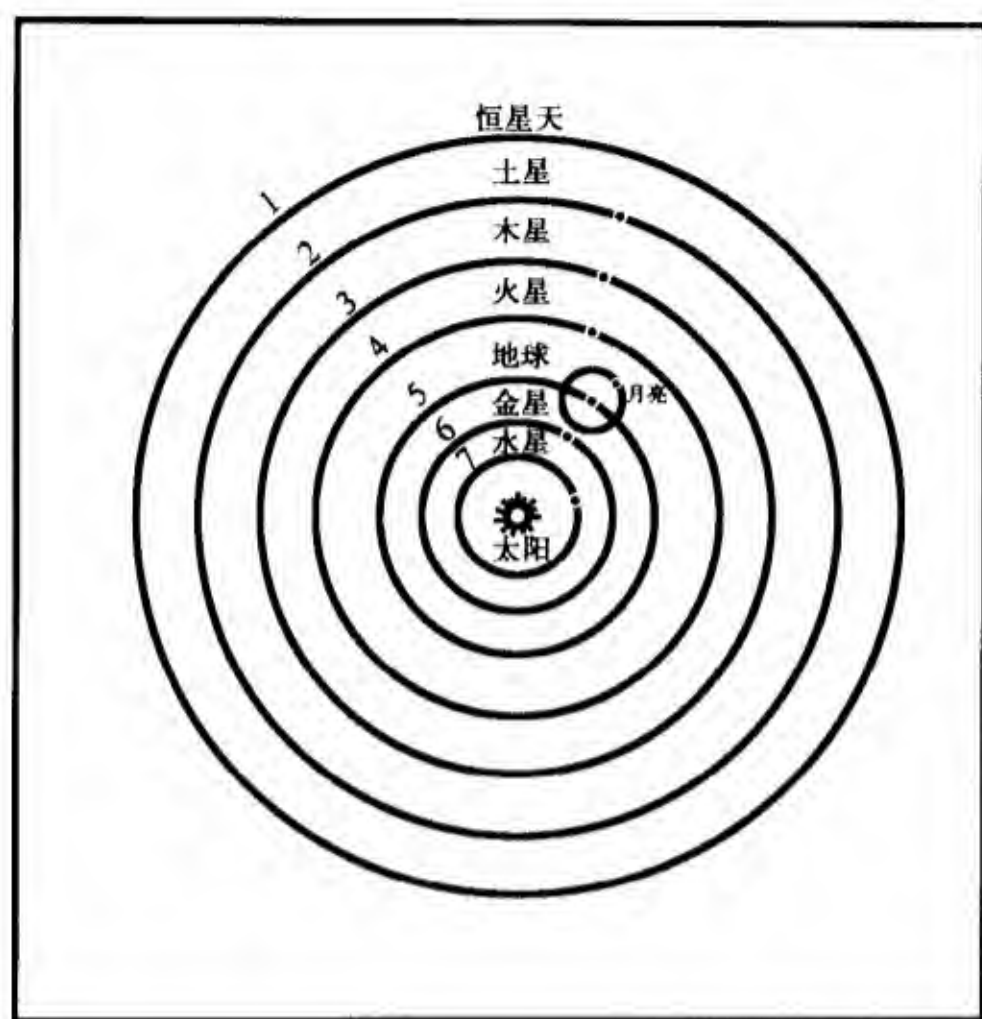


图 5 哥白尼的日心系
开创了近代人的宇宙观。

可能具有某种运动的,也许我可能比别人更能说明天体运行的现象。”

“在我的书里面,我假设了地球有哪些运动,经过反复的应用,终于发现了这个事实:如果把行星的运动(按照它们个别的周期加以计算出来的运动)和地球的运动联系起来,不但行星的现象是一种自然的结果,而且一切行星的次序和大小,乃至高天本身,均表现秩序和谐,它们之间联系之紧密,达到这样一个程度:如果将它们当中的任何一个移动,都会影响整个宇宙的其他部分。”

事实上,哥白尼不是随意选定他的假说的,根据他自己的话说,他经过了“将近四个九年的时间”去研究、观测和核校。他活着的时候,这理论已经传扬,在学术界引起了讨论。可是当时他拒绝了他的朋友刊印他的著作的请求,一直到他临终的时候,他才同意。他的书终于在他死去的那一年,在纽伦堡出版。

哥白尼肯定地料到他的理论一经传播,会引起强烈的反对与仇视,他在这本书的序言里作了一个详细的解释,而且特别献给教皇保

罗三世。为了谨慎起见,序言后面又附加一个申明,说这个新的假说并不表示事物的真相,只是为着便于天文计算而作出的一种虚构。自然这个申明违背了哥白尼的本意,并不是他本人所写的,而是受委托刊印这本书的新教神学家阿济廷德(Osiander)因谨慎而加入的。

在20世纪文明国家里的读者看来,为介绍天体运行的新理论,而需要这样的谨慎,未免有些奇怪,但是在16世纪时,凡是牵涉到足以影响亚里士多德的权威理论和《圣经》的正宗解释的论调,纵然是间接的,也是一件非同小可的事,这种谨慎的申明确实是必要的。这本书虽然说是献给教皇的,可是在1616年终被列为教廷的禁书^①;即使在1611年前后,凡是提倡哥白尼理论的人也都被教皇法庭视做罪犯,不幸的布鲁诺(G. Bruno)便因此被焚而死。

要在这里叙述一下这个世界新体系所引起的斗争的历史,即使相当简略,也会占去很多篇幅。这场斗争经历了整整三个世纪,诚如比古当(Bigourdan)所说:“这场斗争里科学的成分时常是很小的。”以后谈到伽利略受审的时候,我们还要再讲到这段历史的。总之这场斗争的激烈和持久,足以说明哥白尼在世界观的革命上,是具有根本重要的意义的。

哥白尼的功绩主要是首先给予宇宙的地心论以一种明晰的和系统的批判,而且摧毁了那种牢不可破的见解和目视的幻觉。这是他所作的最大的革命,别的方面他和他的前人一样,仍然坚持一切唯美的和哲学的偏见。他也像古人一样相信有一个球形的小宇宙、圆周轨道和等速运动,可是这些假设不能说明观测,他于是不得不再引入他已经从托勒密体系抛弃了的偏心圆和本轮等来作解释。他甚至还主张亚里士多德的物质天球论,在他看来中央的太阳仅仅是具有光照的作用,而重力不过是仅足以维持各个天体内部的结合力罢了。

换句话说,哥白尼对于科学的伟大贡献只是把天文学从地球静止的观念中解放出来,因而促进了以后的发展,至于他对天体运行的解释,并不比托勒密高明许多,因而在当时并不算有什么进步,特别是他的理论里还混淆有许多不正确的、非科学的见解。

假使在他死后150年间没有出现一系列的天才,将他的工作完成,取得他所没有得到的决定性的证据,天文学便不会发生伟大的进展,而他的体系也不会流传到今天。

^① 到了19世纪之初,禁书目录里才取消了这本书。

8. 伽利略 (Galileo, 1564 ~ 1642)

对于宇宙的日心理论,贡献出最明确而直接的证据,因而使这个理论获得胜利的,主要是意大利比萨的物理学家和天文学家伽利略。

这位天才科学家创立了动力学,并为物理科学加入了实验的方法。自1589年以后,伽利略先后在比萨大学和帕杜亚大学主讲数学,已经有名于当时,可是他最大的成就当是他自1609年以后,首先使用望远镜去对天体加以研究。望远镜是1608年荷兰的磨眼镜的工人偶尔发明的,伽利略听到这个消息,他再根据“折光理论的深邃研究”,重新发明了望远镜。

他“不惜劳力与费用”终于制成可以放大到三十多倍的望远镜,他用来发现月亮上的山和谷,更观察到无数的恒星,将银河分解为恒星,最后于1610年初他得到自己以为是最重要的发现,那便是木星的四颗主要卫星。这一切发现他都于1610年刊布在他的《星际使者》(《天空信使》)一书中,他特别指出最后的这一发现是哥白尼体系的“一个强有力的证据”。

可是这些发现与当时人们崇信的教义和亚里士多德的权威哲学是有抵触的,因而这些发现不是不经过斗争就能使人们接受的。当时崇奉亚里士多德的逍遥学派从各个方面起来反对这些发现,他们所根据的一些似是而非的论调,在今天看起来是很可笑的:他们说这些发现只是望远镜上的透镜的幻觉^①,因而是错误的,他们甚至不愿意向望远镜里去看一下。

幸而伽利略有有利于他的观测上的证据,整个欧洲都向他索取望远镜,或者在他指导下去制造望远镜,于是他的观测结果从各方面得到证实。

那批维护传统教义和权威理论的人,在事实前面眼看快失败了,于是便假借教皇的权力来保证他们的意见的胜利。经过了一系列的

^① 对于伽利略和耶稣会教士席奈尔所发现的太阳黑子,更是这样的,这两人谁先发现黑子,经过长期的争辩,席奈尔的观测更持久,伽利略的解释更正确。

根据《汉书》中《五行志》的记载,我国在公元前28年(河平元年3月己未)已发现太阳黑子。——译注

阴谋诡计和长期歪曲的争辩,这些蓄着恶意的愚人终于在1616年将哥白尼的《天旋论》列入教廷禁书的目录里去,于是维护或者宣传地动的“荒谬虚假”的理论,自然是应该被禁止了。伽利略第一次被召到罗马去,在教会法庭前受审,在淫威的胁迫下,他便不能不答应“从此不以任何方式、言语或著作去支持、维护或宣传这种意见”。

但是思想既经交锋,便不容易停下来,在整个欧洲,这种新体系渐渐得到学者们的信从;开普勒因采取日心说,发现了行星运动的定律(参考§10);伽利略继续观测,发现了火星与金星的位相,这是哥白尼所预言的,从此得到观测的证明,驳倒了反对者所持的论点^①。

伽利略将潮汐的原因作为地球运动的证据,不幸这理论是错谬的。伽利略对自己认为正确的理论,因受判决不能公开提倡,只好在许多文章里去说明托勒密体系之不可能,特别是在《分析者》(*Il Saggiatore*)里叙说得很详尽,这本书作为贡献给教皇乌尔班八世的著作,很受读者欢迎(1624)。

可是在1632年出版的《托勒密和哥白尼两个体系的对话集》里,作者对于日心系的主张非常显著。虽然他在出版以前将手稿奉给教皇审查,并且得到教廷的批准,可是出版后,伽利略又被仇人控告,说他竟敢将书中真实内容隐蔽去欺骗教皇,于是他再度被传讯到教廷的审判法庭去。

这位科学家在1633年受审判,被迫立誓诅咒憎恶他曾经宣传过的地动的妖言邪说,从此以后,他在罗马与佛罗伦萨都受到监视,一直到1642年他死去。^②

9. 第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 1546 ~ 1601)

当伽利略在当时文化界努力传播哥白尼的理论的时候,科学界人士所以会相信日心系的学说,至少还靠两位天文学家的功绩:一位是出色的观测者第谷,一位是卓越的计算者开普勒,他们碰巧在一起合作,使他们的天才相得益彰。

^① 这些行星的位相肉眼不能看见,但在小号望远镜里便很明显。

^② 关于这次审判的详细情况,读者可参考有关文献,事实上这次审判的受损害者是罗马教会,而不是科学家。

由于第谷大大改进了天体方位测量的精确度,又由于他观测的辛勤,他发现了许多新现象,最主要的是他给予他的学生和承继者开普勒以质量很高的观测资料,使开普勒得从理论上去研究行星运动的定律。

第谷出身于丹麦的贵族家庭,自幼就喜欢作天文的研究。起初他学习化学、占星术与天文学,因 1572 年有一颗异常明亮的“新星”出现(现在知道这是一颗银河超新星,参看第六章 § 44),他才专门从事于天象的观测。这颗星的出现证明了亚里士多德以来“天不变”的理论的谬误,这现象使第谷异常惊异。他曾经写了这样一段话:

“11 月 11 日晚间太阳落山以后,按照习惯,我在观看晴空上的繁星,忽然间我注意到一颗新的、异常的星,光亮超过别的星,正在我头上照耀,因为自从孩提时代以来,我便能认识天上所有的星星(取得这一知识并不是很困难的),我很知道在天空的那一个区域里不会有星,即使是最小的星,还不说像那颗这么明亮的大星。我很感觉到奇怪,我以为我的视觉发生了毛病。但是我把那颗星的方向指示给别人看的时候,他们也看见那里确是有那么一颗星,我便不再怀疑了。这真是一个奇迹啊,也许这是自从有世界以来自然界里最大的奇迹!……因为所有的哲学家都同意……天上的以太区是没有变化的,那里没有生或灭的现象,因而天体是没有增或减的,无论在数目、大小、光明等方面,他们都是永恒不变的,它们在任何方面总是和往常一样,岁月对它们并不能引起什么影响……”

我们可以理解,和大众信奉的道理极端违背的天象的出现,会使人以为发现了一个奇迹,预兆大事的来临,例如根据那时的传说有人以为基督将再降生,又有人以为将有一个和基督相反的人出现。至于第谷本人,他只从事精密的测量,他认为这确是一颗很远、没有显著视差可以测量的星,绝不是太阳系里的奇特的流星。这颗星的出现给予他的印象正和 18 个世纪以前同一现象给予喜帕恰斯的印象一样,使他去编制一个精密的星表,以便将来的变化得到确切的印证。

这个星表和第谷的其他工作都是 1576 年以后,在哥本哈根附近的赫芬岛上完成的,他得到丹麦王腓特烈二世的资助,在那个岛上修建一所大的天文台,经他命名叫“观天堡”。我们可以把它当做是近代大天文台的前身。自 1576 至 1596 年的 20 年内,他在那里做了大量的观测,他所制造的仪器,比当时所用的仪器大而且精密得多。

往布拉格,充当迷信占星术的奥皇鲁道夫二世的天文学家。可是不久他于 1601 年死在那里。当他将死的时候,他将少年开普勒召到他的身旁来,承继他做御前天文学家。第谷将其观测的宝藏遗赠给开普勒,开普勒很能干地利用这些资料去发现支配宇宙体系的真实定律。

10. 开普勒^①(1571 ~ 1630)

约翰·开普勒在他艰难扰攘的一生里,因第谷的宝贵观测资料的帮助,始得表现他的才能。早在 1596 年,开普勒写了本《天球谐和论》,那是因袭毕达哥拉斯理论的著作,虽然充满了神秘的气氛,可是却明白地主张哥白尼的体系。自从那个时期以后,他的奇特的思想就领导他探讨各行星之间的几何关系,他以为在这些轨道间,内接各种正多面体,如四面体、六面体、八面体等,他曾寻找着这些关系。这些思想虽然是错谬的,可是对于启发他走上大发现的道路,却算是有价值的。

他这本书使第谷认识到他有创作的天才,于是第谷先叫开普勒做他的助手,继后做他的继承人。

开普勒经过无数次的尝试和摸索,因赖第谷的精确观测,得以逐步校核他的计算。开普勒对火星的运动特别加以研究,从这些研究中发现行星的两个基本定律,使他的姓名永垂不朽。

这两个定律于 1609 年刊布在他的《新天文学》书内。第一定律说:行星的运动不是在前人所说的平圆轨道之上,而是在椭圆轨道之上,太阳位置在这些椭圆的一个焦点上;第二定律(面积定律)说:连接行星和太阳的直线(向径)在等时间内扫过的椭圆的面积相等。

顺便提一下一桩有趣的事:开普勒所以发现火星的轨道是椭圆形的,一则由于第谷的观测具有高度的精确性,二则由于开普勒完全信赖那些观测结果。事实上实际的椭圆和假设的平圆相差甚微,在黄经度上只有 8 个弧分。这是一个例子说明测量上精确度的增加,对于科学进步的重要性,引用开普勒本人的话来说明:“就凭这 8 分的差异便引起了天文学的全部革新。”

我们也该提到开普勒在他的工作里不断地考虑到太阳对于行星

^① 旧译“刻白尔”。——译注

运动的作用,这不可避免地使他预料到万有引力的定律,这定律在 75 年以后,才被牛顿发现(§ 11)。

开普勒还首先给予潮汐现象以正确的解释,他说明这现象是由月亮的摄引力给予海水的作用。可是这一切发现都混淆着神秘的、超科学的思想,例如将五种正多面体和行星轨道联成一种关系,开普勒却认真地当做是一种定律。

可是,这些错谬的观念仍然帮助了他,因为这样会导引他去寻找行星的公转周期与它们和太阳之间的距离的关系。他经过了 16 年的辛勤劳动,由于繁复的计算和无数的失败,他终于发现他的第三定律:“行星公转周期的平方和它们轨道的长轴的立方是成正比例的。”他将这个基本的结果于 1619 年刊于一本书里,这本书意味深长地叫做《宇宙谐和论》。

这样便建立了行星运动的三个基本定律。根据这些定律去说明观测结果,精确度之高远远超过圆周轨道的假说,所以天文学家们很快就公认了这三个定律。这些定律的发现为牛顿的发现开辟了道路,使他终于掌握了万有引力的原理。

除了这些以外,开普勒在物理学上也像在天文学上一样,曾作了许多重要的研究。他的著作还有《哥白尼天文学概要(1681~1621)》和《彗星论》,在《彗星论》这一本书里他指出彗星的尾巴总是背着太阳,并且说那是由于太阳的光线驱逐彗星头部的物质所形成的。这样他便在两个半世纪以前预言了辐射压(第六章 § 40)。他发现了折射的近似定律,使他用很简单的方法去计算蒙气差,并且说明在天顶(不像第谷所相信的在高度 45° 处)蒙气差才变为零。他首先主张大气有重量,并且正确地说明全食的月亮何以是红色的,因为那是由于阳光在地球大气里所发生的折射而成。他也建议在天文望远镜上用聚光目镜去代替伽利略的散光目镜。

最后,他在晚年根据他的定律和第谷的观测编制了行星运动的《鲁道夫星行表》(*Rudolphine Tables*),在一个世纪以后,被人用做计算天文年历的根据。

1630 年他经过长途跋涉去索取皇帝应该给他的欠薪,那一年他便因穷困而死去。开普勒为了获取生活费用,终身为人占星卜命,虽然他具有神秘的禀性,他却不相信那骗人的伪科学(占星术)。

11. 牛顿 (Newton, 1642 ~ 1727)

英国的天才科学家牛顿,兼长数学、天文学和物理学,他的最伟大的成就当是将支配天体运动的普遍定律稳固地建立起来,完成了哥白尼、伽利略、第谷和开普勒经 150 余年的努力,所建树的伟大结构。

据传说在 1666 年牛顿才 24 岁的时候,有一天,他看见一个苹果落地,引起他想到使物体落地的一种地心引力,并且使他考虑这样一种引力是不是可以远达月亮,使月亮维持在它轨道上运行。可是那时他所掌握的关于地球的大小的数据,不够使他校核他的想法。事实上天体互相吸引这个概念,在牛顿以前已经有人想到,特别是开普勒和英国物理学家胡克(Hooke)。开普勒甚至说过摄引力按距离的平方的倒数而减少。牛顿的主要贡献是确切地令人信服地证明地球的引力实在是按照这个定律而变化的。

直到 1671 年法国天文学家皮卡尔(Picard)在巴黎的北面由精密的大地测量求得地球的直径,精密度远远超过以前的数值的时候,牛顿在他这个工作上已经等待了 16 年,最后才获得成功。牛顿用了这个新的数据,才能够将物体坠落地面和月亮向地“坠落”(即是离开月亮轨道上某一点的切线向地而行的偏差度)正确地加以比较,他发现这两种效果的观测数值,在测量误差的范围内,恰好和到地心的距离的平方成反比例。

因此,牛顿才正式公布了他的万有引力定律:“万物彼此吸引,力量的大小与参加的物质的质量成正比例,并且与它们之间的距离的平方成反比例。”还须提到的,牛顿在这方面不愿提出任何形而上学的假说。他说:“凡是不能从现象诱导出来的都叫做假说。假说,不管它是形而上学的或物理的……在实验哲学里都没有地位。”他陈述了吸引力的定律以后,在吸引力的“本性”上,就避免提出任何假说了。

万有引力定律于 1687 年经牛顿刊布在他不朽的巨著《自然哲学的数学原理》之中,在这本书里他永远奠定了天体力学的基础,而且从他的定律和伽利略与惠更斯(§ 12C)的力学,诱导出开普勒的三个定律。

牛顿用他的定律来解释潮汐,并作精密的计算,更将行星间相互的摄动计算进去,以更高的精确度计算月亮和行星的运动,甚至计算彗星的轨道。这是一个很大的成就,因为这样,便将那时代还被认为



敦煌星图

约绘制于 705 ~ 710 年间,图中的北斗七星明显可见。

不受引力定律支配的彗星,亦纳入了一般事物的自然秩序里去。

牛顿的同时代人哈雷(第三章 § 13)将这样的计算运用在 1682 年的大彗星(这彗星现以哈雷命名)的轨道上去,预言这彗星将在 75 年

以后的 1759 年再度出现。这预言的按期实现,对于牛顿定律的真实性与天体力学的方法的可靠性,提供了最后的和有决定性的证明。我们还可附带说,牛顿的理论和他的力学在大陆上得到普遍承认只是从那个时候(18 世纪)才开始,因为国家的偏见而不是科学家的怀疑,牛顿的创见在英国以外许多欧洲国家里,都没有得到重视,那时法国哲学家笛卡儿对宇宙的性质和构造有一种奇怪的主张,现今虽已被人否认,但在当时却有不少信从的人。

牛顿在天文学上的其他成就还有用理论推测地球的两极处是扁平的形状。他也首先解释了二分点的岁差现象是和地球的扁平形状有关联的,岁差就是由于太阳对地球赤道突出部分的摄引而造成的。18 世纪之初地球是不是扁平的这个问题曾经引起很多的争辩,一直到法国的测量远征队在拉普兰德与赤道两地的子午线上各测量等角的一段弧长(第三章 § 16)加以比较,才证明了牛顿预言的正确性。由这一比较说明 1 度的弧的长度在拉普兰德比在赤道要长一些,所以子午线按照牛顿的理论确实在两极区是扁平的。

最后,还须提到牛顿于 1672 年首先使用金属反光镜,制成反射望远镜。这一类型的望远镜在一个世纪以后才在威廉·赫歇耳手里得以发展(第四章 § 23),自从那以后便成为近代天文观测的重要仪器。

牛顿自刊布他的原理以后,不幸因行政职务占去了他的活动时间,他的天文学研究也就因此结束了。

12.17 世纪其他天文学家

和经典天文学的辉煌创始人相比较,那一时代其他的天文学家都显得黯淡无色,可是他们当中有一些人的工作是值得提一提的。

(A) 霍罗克斯(J. Horroxx, 1619 ~ 1641)

这位英国传教士,显然是一个早熟的天才,在他短暂的一生里,所做的观测和所倡导的理论都是很出色的。他于 1639 年首先观测了金星凌日轮而过的现象。^① 他的主要成就是他在早期全力支持开普勒的椭圆轨道的理论,他把这理论应用到月亮的运动上去,他的论文在他

^① 1631 年法国哲学家加桑迪(Gassendi, 1592 ~ 1655)观测过水星凌日,证明开普勒的《鲁道夫星行表》有确定的优越性。

死后很久,于1672年才刊布出来,被牛顿引用。他首先说明月行的出差和二均差同属月亮轨道的椭率的效应,由于太阳的引力的影响,产生了月亮轨道的椭率的变化和拱线的摆动。他又对第谷所怀疑的月行周年差提供了明显的证据。他的早夭对于天文学实在是一个相当大的损失,更可惜的是,他大部分的研究报告都散失了。

(B)赫韦吕斯(J. Hevelius, 1611 ~ 1687)

这位但泽的富商在他的住宅屋顶上建起一座设备完善的天文台,他是17世纪里最辛勤的观测者。他在1642至1645年间对太阳黑子作了辛勤的研究,从而对太阳自转周期推出一个相当准确的数值。他首先描绘黑子周围的明亮的区域,他所定的“光斑”这一名词,一直沿用到今天。他对行星,特别是对木星作了不少的观测。

1647年,他根据十年来的观测,刊布第一幅比较详细的月面图^①和每月每日的月相图。他以为月轮上大的、相当均匀的灰色斑痕是低的平原,明亮的区域是山峰。他对月面山峰的高度比伽利略所求得的数字更准确些。

赫韦吕斯对方位天文学也很感兴趣,计划编制一个比第谷的星表更完善的星表。这项工作开始于1657年,不幸在1679年赫韦吕斯的天文台被火焚毁,以致星表未能作成。可是就他已经作过的观测使他编制了一本包括1500个恒星方位的星表,这本书于1690年他死后才得以出版。这本书名叫《天文图志》(*Uranographia*),包含54幅精美的天象图^②。可惜赫韦吕斯所作的方位观测纯粹是肉眼的观测,所以减少了他工作的价值。

(C)惠更斯(C. Huygens, 1629 ~ 1695)

以上所说的天文学家研究的对象主要是天体的方位与运动,但荷兰人惠更斯所注意的却是天体的外貌和物理结构。

他最有名的(即使不是最重要的)发现当是土星的光环。伽利略用他原始的仪器,对土星只观测到一种奇怪的形状,有时椭长,有时浑圆,把他弄得莫名其妙。伽利略以后50年间的观测者所描绘的土星,

^① 1651年意大利天文学家里希奥利(J. B. Riccioli, 1598 ~ 1671)在他的《新伟大论》里刊布一个更好的月面图,他所用的月面名称沿用至今。

^② 17世纪初德国牧师巴耶尔(J. Bayer, 1572 ~ 1625)编制第一个星座图,刊布于他的《天文测量志》(*Uranometria*, 1603)之内,始用希腊字母代表恒星而不用和神话上的人物形态相联系的描绘,这样使得繁星在天球上的情况明了很多。巴耶尔的字母从那时沿用至今。



卡西尼所绘的月亮图(1680)
(按巴黎天文台的样本复制)

具有非常奇特的形象,但是没有人能够说明这个行星奇怪而且变化多端的形态。惠更斯使用更大、更好的仪器,于1655至1656年内解决了土星的形状的谜。他告诉我们说他发现:“土星的球体周围被另外一种物体包围,那是一种和土星同一中心的环圈。”惠更斯把他的发现写成一句有名的隐语,直到1659年他才把它翻译出来,意思是说:“它被一种薄的环包围着,这环不和土星接触,而与黄道斜交。”他也刊布了一个草图,说明土星何以呈现形态的变化和它的光环的现象随土星对于地球的相对位置的变化而发生的改变。

惠更斯使用他有力的仪器,不但窥见了土星的光环的真相,而且发现土星的第一颗卫星(Titan)。以后卡西尼曾于1671至1672年内发



旋涡星系 M83(NGC5236)是位于长蛇座的大而亮的旋涡星系,从照片上看出它非常清晰的旋涡结构,距离约 1 600 万光年。

现土星的别的卫星(§ 12, D)。1656 年惠更斯发现猎户星云,这是一团稀薄、广大的星云,以后引起许多天文学家的注意:那时人们只知道另外一个星云^①,这可算是一个卓越的发现了。1665 年应路易十四的邀请,惠更斯去法国工作,他在那里住了 16 年,在此期间完成了和牛顿的微粒说相反的光的波动理论。1681 年法国发生了对新教徒的迫害运动,他转回荷兰,死于 1696 年。除天文学上的发现之外,他另外的重要发明有圆滚摆钟(1673 年刊布在巴黎出版的《摆钟论》书中)和天文望远镜上的复合目镜(现今仍在使用),比开普勒的简单目镜更为优良。1698 年,在他死后三年,在海牙出版了他的《宇宙论》(*Cosmotheoros*),总结了他对太阳系和太阳系外宇宙的见解,就其时代来说,其中一些见解,实在是很卓越的,例如别的行星上也有生物居住那个见解,

^① 第一个星云于 1612 年被德国天文学家默耶尔(Simon Mayer, 1570 ~ 1624)所发现;这便是仙女星云。这个星云可以用肉眼看见,在第 10 世纪已经被阿拉伯人注意到了。猎户星云于 1618 年已经被西萨杜斯(J. B. Cysatus)观测过,可是惠更斯并不知道。

在他以后两个世纪里得到很多人的赞赏。

惠更斯最重要的成就当是正确地阐明布鲁诺所提倡的、伽利略和开普勒所不敢主张的一个意见,就是天上的恒星都是宇宙里的太阳。根据光度的比较(虽然粗疏,却表示出一个数量级),惠更斯估计天狼星离地球的距离比太阳大约要远 27 000 倍。这数值比事实上还小了 20 倍,但这已表示恒星的距离的遥远了。惠更斯还说星星数目之多超出人们的想像,这是“恒星宇宙是无限的”论调。

(D) 卡西尼(J. D. Cassini, 1625 ~ 1712)

我们说过,第谷在某一时期曾经有一个专为研究天文的现象台,后来他的一位学生名叫隆戈蒙塔尼斯(Longomontanus)的,于 1632 年在哥本哈根建造一所天文台,到 1656 年才完成,可惜于 1728 年被火焚毁。同时期有一些天文爱好者建成几所私人的天文台,但是直到 17 世纪中叶,没有专为天文观测而设的国立的大型机构。伽利略、开普勒和惠更斯只是在窗口、走廊或花园里观测天象。

路易十四在位的时候,天文学家奥佐(Auzout)向他建议在巴黎建立一所经常观测天象的机构,所以在 1666 年法国科学院成立不久以后,即计划修建巴黎天文台。这机构迅速建成,1671 年开幕,交给路易十四于 1669 年召到法国来的意大利天文学家卡西尼去领导。卡西尼订购大型望远镜(莫里哀^①把它们叫做“使人惊骇的大望远镜”),他用这些望远镜对太阳、月亮和行星,作了重要的观测。上面说过,他于 1671 年发现土星的第二颗卫星(Iapetus),1672 年发现第三颗卫星(Rhea),1684 年他再发现两颗土卫(Dione 与 Tethys)。1675 年他在土星的光环里发现一个圆形的空隙,现在仍用他的姓来命名。1665 年他还意大利的时候,发现木星的卫星投在木星面上的射影,显然是和木星面上的斑痕有区别的。对这些斑痕的观测使他测定木星绕轴的自转周期。他到了巴黎天文台以后继续这一观测,将木星的自转周期测定得很精确,和今天公认的数值很是接近。他正确地说明木星上的斑痕和暗带是木星上大气的现象,性质类似地上的云彩。他也研究过火星的自转,他在火星表面上找出斑痕,求得自转周期为 24 时 40 分,比现今的数值仅少 3 分。

他用了很多时间从事木卫被食的观测,根据伽利略的建议,木卫

^① 法国著名的喜剧作家。——译注



伽利略望远镜(藏于佛罗伦萨科学史博物馆)

(特别是最接近木星的一颗)的迅速运行,成了地上到处可以望见的天空的时钟,这样就可以用来解决在海上测定经度的困难问题。所以精密地计算木卫的星历表便成了很重要的工作。卡西尼于1668年刊布他第一个木卫星历表,以后更多次反复研究这一个问题。卡西尼与丹麦天文学家罗梅尔合作在巴黎天文台对木卫的研究,使罗梅尔作出一个很重要的发现。

(E)罗梅尔(O. Römer, 1644 ~ 1710)

1672年法国天文学家皮卡尔旅行到丹麦,为了重新测定第谷天文台的地理坐标,他带着丹麦一位少年天文学家罗梅尔回到法国,罗梅

尔随即加入巴黎天文台,参加木卫被食的观测。这些观测表明卡西尼的木卫运行表(特别是和木星最接近的一颗)有一种误差,按木星与地球的相对位置,木卫被食的时刻比星历表所预推的,有时早,有时迟。1675 年卡西尼想到这种食时的观测与计算两种数值的差异,可能由于光线经过木卫和地球之间的距离而来,但是卡西尼没有作进一步的研究。可是罗梅尔却仔细研究了这个问题,1676 年他使用 1671 年以来的观测,宣布木卫运行的周期性的差异确是由于光线从木星到达地球所需的时间。这就说明光线并不如古人所想像的以无限大的速度传播,从一点到另一点是需要时间的。罗梅尔估计光线越过地球轨道的半径需时约 11 分钟。现在知道这数值是太大了,真实的数值为 8.25 分钟。将这个光行时加进计算以后,便可大大改进木卫星历表的精确度。半个世纪以后布拉德累发现光行差(第三章 § 14),便使用了罗梅尔的发现,而为日心理论作出有力的证明。

(F) 弗拉姆斯蒂德(J. Flamsteed, 1646 ~ 1719)

当奥佐在法国建议修建国立天文台的时候,英国有弗拉姆斯蒂德建议于 1675 年在格林尼治公园内修建英国皇家天文台。这个天文台的主要工作是精测恒星的方位,以便更好地测定船只在海上的位置,对于像英国这样一个航海频繁的国家这是非常重要的事。格林尼治天文台第一任台长是弗兰斯提德,他一就职即开始他的观测任务。在他那时期以前,所有记录在星表上的方位测量都是用肉眼观测的,所以结果都不很精确。

弗拉姆斯蒂德在格林尼治精细地将望远镜和测量仪器综合在一起,以增进观测的精确度,他从 1676 ~ 1705 年经过差不多 30 年的努力,最后于 1712 年刊布了一个大的星表,名叫《英国天文志》(*Historia Coelestis Britannica*)。这星表于 1725 年修订再版,有星 2 866 颗,1729 年更有按照这个星表描绘的星图出版。弗拉姆斯蒂德在极端困难的情况下,一人独自工作,终于完成他的伟大著作,他的星表到今天仍然是 17 世纪末天球现象的最有价值的文献。

* * *

就是这样,自哥白尼至牛顿的 150 年间,人们对于宇宙的见解经过彻底的革命,从古人而来的意念已经逐渐被人放弃了。新的理论和

观测有决定性地证明了：地球不是宇宙的中心；太阳并不围绕地球运行，把地球降为一个寻常的行星，围绕着太阳在运行；天体不是以等速在圆周轨道上运行，而是在更复杂的曲线（近似地表示为椭圆）上运行；那些奇怪的、好像难以测度的、像彗星那样的天体，实际是遵循一定的轨道，围绕太阳运行；它们的再度出现是可以按照天体力学的一般定律而预测的；天不是一成不变的；太阳的明亮表面上有变化着的黑斑；星在天穹是或隐或现的；星的光亮是有周期性的变化的^①。这一系列的发现再加上同时期物理领域内的发现，无疑推翻了亚里士多德的权威理论，在人类知识前进的道路上，比两千年前“希腊人的奇迹”还更重要。

宇宙的真正体系的发现更摧毁了一切地心的和人本位的哲学基础，所以占星术自16世纪末以后便衰颓了。虽然占星术还被第谷研究，不幸的开普勒更靠占星术维持生活，可是从那时以后，严肃的天文学家便不把它当做职业了。^②

① 第一颗变星被人发现是在1596年，发现人是天文学家法布里许斯(D. Fabricius)，光变的周期性于17世纪中经人证实。赫韦吕斯将这变星叫做“鲸鱼怪星”(Mira Ceti)，即刍藿增二。

② 20世纪里占星术再度流行，无疑将被后人认为是这时代的一种耻辱。

第三章

经典天文学的兴起:17 世纪末至 19 世纪中的方位天文学与天体力学

13. 哈雷(E. Halley, 1656 ~ 1742)

哈雷继弗拉姆斯蒂德为格林尼治的第二任御前天文学家。事实上哈雷早已参加这个天文台的工作,而且以他卓越的研究,引起人们对他的才能的钦佩。1676 年,哈雷才 20 岁的时候,便航行到圣赫勒拿岛,在那里建立一座临时天文台,一年内便做成第一个南天星表,这个星表足以补充赫韦吕斯所完成的与弗拉姆斯蒂德所开始的两个北天星表。他的包含 381 颗恒星方位的星表刊布于他回国的那一年(1678),这使他在 22 岁的青年时代便享有了盛名。1679 年他去但泽,同赫韦吕斯一起工作,1680 年去巴黎同卡西尼一起工作,他和卡西尼一道观测那年的大彗星,这引起他对彗星研究的兴趣。上面说过,直到那个时代,彗星还被人当做是一种很神秘的现象,很难使人相信彗星和别的天体一样遵循物理的规律。第谷观测过几颗彗星,他说明彗星不像那时人们所相信的,是地球所吐出的气或者是近距离的流星,而确是太阳系里的天体。第谷甚至想到彗星可能循一定轨道围绕太阳而运行,但是他没有办法去验证这个想法。开普勒仍然相信彗星在太阳系里循直线运动。在伽利略的时代,逍遥学派的人因袭前人的理论,以为彗星的运行并不遵循其他天体所遵循的定律。

卡西尼与赫韦吕斯观测了 1662 年的彗星之后,指出彗星可能在类似行星的轨道(但是更椭长些)上运行,赫韦吕斯甚至提到抛物线。

牛顿首先断然地证明彗星的轨迹最好表示为抛物线的轨道,太阳在这抛物线的焦点上。只有哈雷才尽全力从事于彗星的轨道的计算。他于1705年所刊布的《彗星天文学》(*Treatise of Cometary Astronomy*)里,写下他计算过的24颗彗星的抛物线的轨道。在这24颗彗星里有一颗出现于1681至1682年的,引导他作出促进天文学发展的一个伟大的发现。

哈雷计算了1682年彗星的抛物线根数,注意到这些根数和他对于开普勒与隆戈蒙塔尼斯于1607年所观测的彗星计算出的轨道线数很是相似。于是他再朝前搜索,找着阿皮延(Apian)于1531年所观测过的彗星,他由这颗彗星也得到差不多相同的根数。这三颗彗星既然有相同的根数,而且出现时间相距同是75或76年,使哈雷想到这三颗彗星实在是相同的一体,按周期复回到地球上可见的范围内,他于是大胆预言这颗彗星将于1758年再度回转来。可见该颗彗星的轨道是一个很长的椭圆,而不是抛物线,至于每次转来的周期有少许的差异,哈雷给予又简单又正确的解释,他说这是由于彗星在其行程中靠近行星所受的摄动作用的结果。

自然哈雷不能活到那样久去验证他自己的预言,这预言真的被校验了以后,在欧洲引起极大的热情,如上所述,这样便使欧洲学术界一致地接受了牛顿的理论。哈雷彗星真于1758年转来了。1759年初还可以看见它,经过近日点的日期和预算的日期只差了一个月,想到周期有那样长,这样的相合真算是很好的了。哈雷彗星又于1835与1910年转来,下次将于1986年再转来(图6)。

在天文学的发展上,哈雷还有许多重要的发现。

1716年,他建议观测金星过日面去测定太阳的距离。在这一研究上,哈雷也不能亲身去作观测,因为他那时的最初两次金星过日面在1761与1769年。经历一个世纪,这还是测定太阳距离最好的方法(§17)。

1718年哈雷又发现一个重要的现象:恒星的自行。自古以来人们总以为星星固定在天球上,常有人叫做“恒星的天球”。哈雷将他自己圣赫勒拿岛所测定的方位和喜帕恰斯与托勒密所作的观测加以比较,他注意到有四颗星(毕宿五、天狼、大角与参宿四)表现出他们的位置有些微的而确是真实的移动,惟一可以使人满意的假说便是这些星对于天上的坐标真正在移位。对星的这种自行的发现,在恒星宇宙的研究上,开辟了广阔的天地。

最后,月亮运行的长期加速是哈雷所发现的。这一发现,在表面

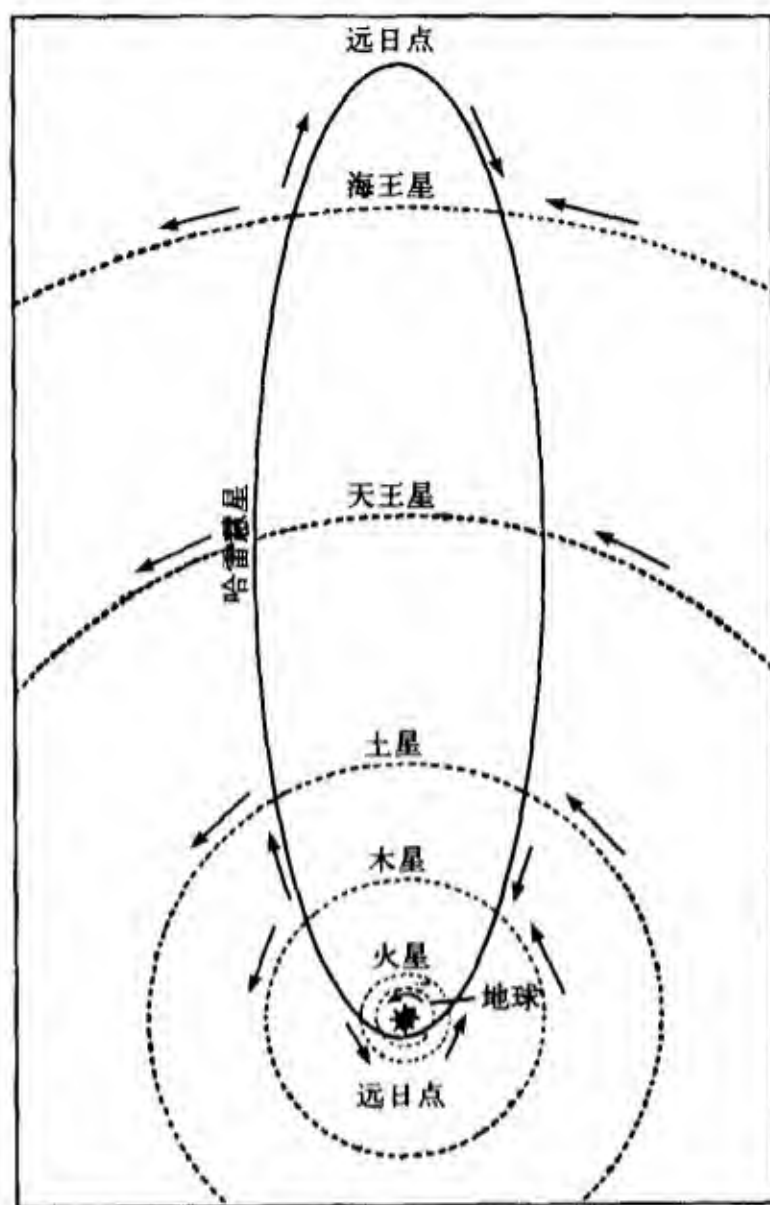


图 6 哈雷彗星的轨道

最近几次过近日点在 1682、1759、1835 与 1910 年。

上好像与牛顿的定律发生矛盾,引起了不小的骚动,直到一个世纪以后,拉普拉斯才说明这是一种周期很长的差数,加速阶段以后,将有减速阶段跟着而来。^①

14. 布拉德累 (J. Bradley, 1693 ~ 1762)

格林尼治天文台第三任台长詹姆斯·布拉德累也是一个伟大的天文

^① 以后的工作表明所谓拉普拉斯的周期差(和地球轨道偏心率的长期变化发生联系的)只能解释月亮的长周加速的一部分,还有一部分是非周期的,现在已经证明这一部分是由潮汐对于地球的作用,使地球慢慢转缓的缘故。



1986 年的哈雷彗星

学家,他作了很多的恒星方位的观测,还作出两个很重要的发现,即光行差与章动。虽然人们运用牛顿和开普勒的定律于日心系上,行星的运动已经得到满意的说明,可是哥白尼的理论还有一个基本的困难没有得到解释。反对哥白尼的人说如果地球围绕着太阳在空中运行,人们

便会看见星在天球上发生一种移动现象,这是地球在空间移动所引起的透视效果。对这种位移(学名叫做“视差”)的研究,引起了18世纪和19世纪上半期许多天文学家的注意。虽然自牛顿以后,经过了150年的努力,才得到视差的测定(第四章§25),这些努力的前进途中却引起几个重要的发现,其中两个就是布拉德累所得到的。

一个是光行差。1725至1726年间布拉德累对于天龙 γ 星从事视差的测量的时候,他找到这颗星对于天球上的坐标真有一种移动,但是这种移动的方向和视差移动的方向并不相合。于是布拉德累观测天空另外的几颗星,去研究这一种新的现象,作出结论,说这是恒星所共有的一种效应,其大小随地球在它轨道上运行的方向而发生变化。他对这奇特的现象经过许多猜测之后,终于找着正确的解释。他在写给哈雷的一封信里说道:“我终于猜出以上所说的这一切现象是由于光线的运动和地球的公转所合成的。因为我查出,如果光线的传播需要时间的话,一个固定物体的视位置将随眼睛在静止的时候和眼睛运动不在眼和物所连之直线的方向上的时候,而有所不同。而且当眼睛循各方向运动的时候,固定物的视方向也就有所不同。”

可见布拉德累并没有观测到恒星的视差,可是对于哥白尼的理论却发现另外一种重要的证明,同时也证实了罗梅尔所发现的光的速度是有限的(图7)。

光行差的角或称光行差常数,规定为因光行差而使星在一年内所走的视椭圆的半长轴,数值约为20弧秒。这个常数自布拉德累发现以后,已经为人求出。这个常数的重要性在于它不但可以用来校正观测得来的恒星的位置,而且因为它一方面和光的速度,另一方面和地球的公转速度有关,这样就可以作为估计太阳的距离的一种方法。

布拉德累的第二个大发现是地轴的章动,这是追求光行差的观测更进一步的结果。布拉德累将光行差的效应计算入观测的结果以后,发现星的极距仍然有一点细微的变化,天球各处恒星的这种变化的分布规律,使他想到可能是由于月亮的影响使地球的自转轴发生一种颤动的情况。他说:“当我考虑到这些情况和我在观测中所了解的月亮轨道的升交点的情况,我想到月亮对于地球的赤道带突出部分的作用,可能造成这种效应。因为按照牛顿的原理,岁差的现象既然是由于日与月对于那些突出部分的作用而形成的,可是月亮的轨道的位置有时和赤道平面所成之角,比别的时候可多十度,所以由月亮的作用

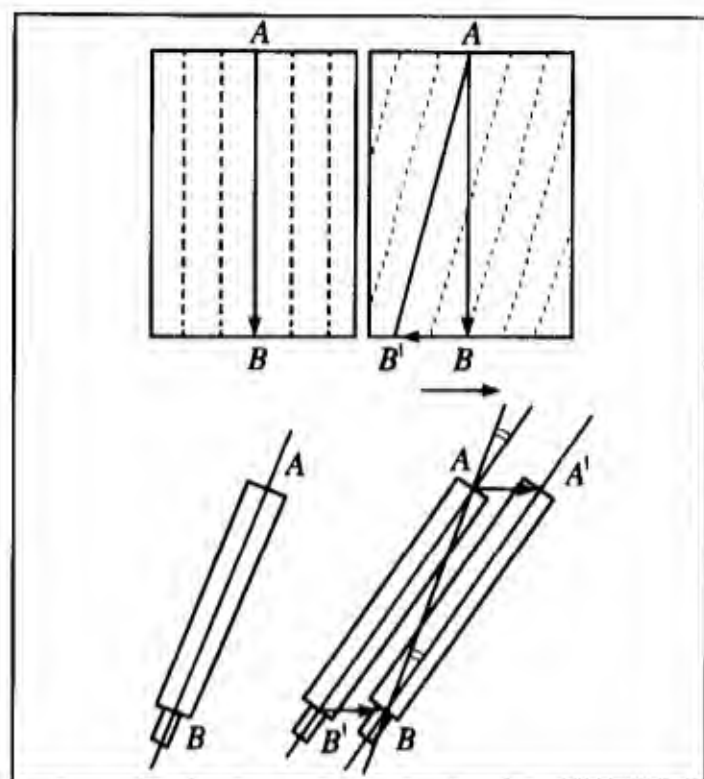


图7 布拉德累对光行差的解释

上图:对于静止的车厢(左),雨点沿垂直向 AB 在玻璃窗上流;当车厢前进的时候(右),因 AB 和 BB' 两种位移的综合,雨点沿 AB' 斜向流下。

下图:同样,如果观测者是静止的(左),他所看见星光的方向便是星光真正的方向;如果观测者循横向 AA' 移动(右),他便觉得星光由 AB' (或 $A'B$) 的方向而来。

而产生的岁差每年的总值,当随年份而有变化……”以前说过月亮轨道的交点线在天球上转过一周需要 18 年半,即需要一个沙罗周(第一章 § 4),所以这个周期也该是地轴的章动的周期,这两个周期相同,自然证明布拉德累的假说是正确的。

布拉德累研究了超过一个整周期(1727 ~ 1747)的章动椭圆,于 1747 年刊布他观测的结果。布拉德累能够定出仅有 10 弧秒的幅度的变差,足以说明自第谷以后(第二章 § 9),恒星方位测量上的进步。布拉德累晚年尽全力编制一个庞大的星表,记载他在最后 12 年所作的 6 万多个观测。他死后多年,他的星表才分作两卷,在 1798 和 1805 年出版。1818 年德国天文学家贝塞尔(第四章 § 25)根据布拉德累的观测,刊布一个有 3 000 星的星表,这星表对于近代研究恒星自行有无比高的价值。

15. 拉卡伊(N. L. de la Caille, 1713 ~ 1762)与拉朗德(J. J. de Lalande, 1732 ~ 1807)

如上所述,由于有才能的观测者接踵而来,格林尼治天文台在天文学的发展上居于领导地位,而巴黎天文台自卡西尼以后继起无人,经过 18 世纪没有什么贡献。那时的法国天文学家集中力量从事于大地测量的工作(§ 16)。方位天文学的传统幸而被一位业余天文爱好者名叫拉卡伊的所革新。他曾于 1736 至 1740 年间在巴黎天文台工作,然后在巴黎马扎兰公学(即现今法国科学院所在地)建起一座私人的天文台,他在那里对太阳和恒星作了很多的观测。他的最出色的研究是于 1751 至 1753 年间在好望角旅居时所作的,他测定了月亮的视差,并编制了一本南天星表,内容将哈雷的星表扩充了很多。他也在此期间首先测量了南半球子午线上一段弧长。

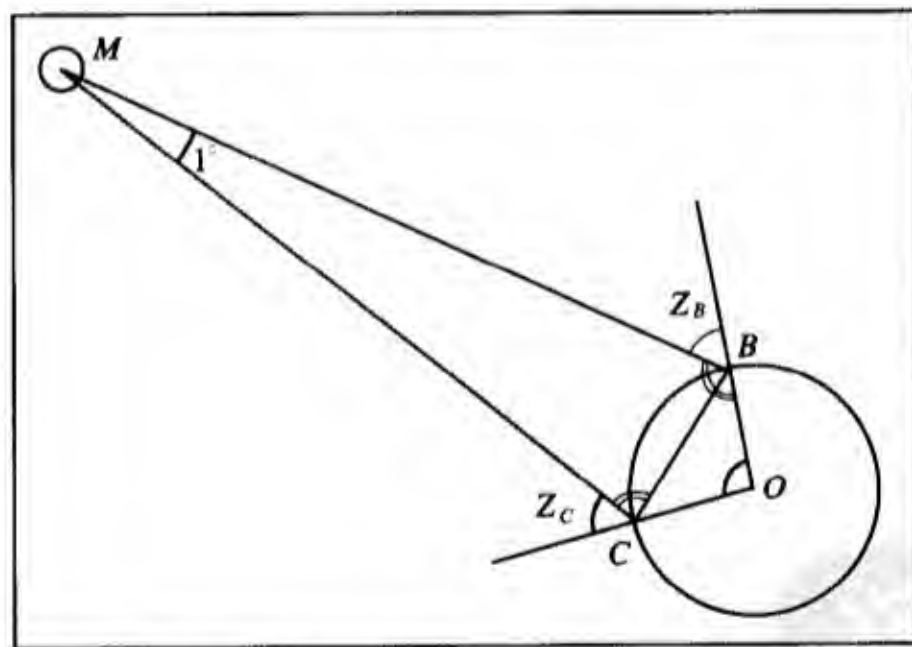


图 8 拉卡伊测量月亮的视差的方法

当月亮经过 B (柏林)和 C (好望角)的子午线的时候,同时观测它的天顶距 Z ,便可测得三角形 MBC 的 B 和 C 两角,因此可以求得 M 角,这样便可推知月亮的距离。

他是第一个使用三角方法测量月亮的距离的人,这是和他的学生拉朗德合作的。他和拉朗德同时在好望角和柏林作观测,这两个地方差不多在同一经度上,纬度相差 90 余度,两点之间做成一个比地球半

径还长的底线(图8)。他们的观测是在1752年同时作的,求得月亮视差为57弧分,和近代的数值很接近。由这结果可以算出月亮与地球之间的平均距离约为地球半径的60倍。

拉卡伊的大星表于1763年他死以后才刊印出来,更是一个重大的贡献。哈雷只观测南天星350颗,拉卡伊在不两年的时间内用他的小望远镜观测了暗至7等的星一万多颗,这是第一个记载有许多肉眼看不见的星的星表。可惜他所用的望远镜太小,所定的位置因而不很精确。拉卡伊第一次观测到许多南天的恒星,取了14个南天星座的名称,沿用至今。在他的旅行期间,他还观测了许多星云,他的第一个星云表包括42个星云,刊布于1755年。

他回巴黎以后,更观测了黄道附近的恒星500余颗,刊布于1763年。他更计算了1745至1774年间天文年历,后经拉朗德延长到1800年。

拉朗德年轻的时候就开始了他的天文研究,他被派到柏林参加月亮视差的测量工作的时候才19岁。1759年他遵照克莱洛的指示,计算了哈雷彗星受木星和土星的摄动(§13),如上所说,这一计算经观测证实,误差不到一个月,达到由理论预测不可避免的误差的极限。他还写了许多天文书籍,其中著名的有《天文学大全》一册(1764)和搜罗宏富的《天文文献考》一册(1801)。1795年他被任命为巴黎天文台台长,尽力革新陈旧的仪器。1801年他仿效弗拉姆斯蒂德(第二章§12)刊布他的篇幅较大的《法国天文志》。这本巨著里有5万颗暗至10等星的位置,这些位置都是1789至1799年对他的侄儿和侄媳所测定的。这些观测后来帮助英国天文学家贝利(Baily)编制一个包含47390颗星的星表,刊布于1847年。

16. 地球的测量

地球的大小 由于人们承认了日心的体系,由于天体的距离测量的需要,人们迫切地想知道地球的大小。上面说过17世纪时皮卡尔曾经在巴黎北面的子午线上精密地测量了一段弧的长度,那件事曾经帮助牛顿证明他的万有引力定律。

法国科学院和巴黎天文台建立以后,路易十四给予他的天文学家一个重要任务,那便是由北到南,由敦克尔克到佩皮尼扬精密地测量一段大圆弧,作为绘制帝国地图的底线。这个伟大的计划于1683年



灿烂的南天星空

猎户星座高挂天空(右上),左下为全天最亮的星是天狼星(大大座),再往下是全天第二亮星即船尾座的老人星。疏淡的银河顺流向南,左边贴近地平处星为南十字星座。在我国大部分地区只能看到老人星和它上面的星空。在海南一带才能一见南十字座的全貌。

由卡西尼和拉伊尔(La Hire)担任,他们遇到了许多困难,直到1718年才完成这个工作。这段横过法国的大圆弧于1739年经J.D.卡西尼的儿子扎克·卡西尼(1677~1756)加以复测。

这时候又有人努力去解决地球的扁平形状的问题(第二章§11)。1735年法国科学院命大地测量学家果丹(Godin)、布盖(Bouguer)和拉孔达米恩(La Condamine)赴秘鲁,另一队有莫佩屠斯(Maupertuis)、克勒罗和勒蒙尼耶(Le Monnier)等赴拉普兰德。我们已经说过,由这两个区域的测量加以比较,证明如牛顿所推测的,地球是扁平的。纬度1度的长度在秘鲁是56 737古尺^①,而在拉普兰德则是57 419古尺。

虽然地球的扁平形状已经从性质上得到证实,但是由这些大地测量所得的数值却不与牛顿和他的继起者所建立的天体力学所推出的数值相符合。这个问题经过18世纪未能得到解决,直到1790年法国宪政会议讨论采用米突制的时候。宪政会议根据波达(Borda)、拉格朗日、拉普拉斯、孔多尔塞(Condorcet)和蒙日(Monge)诸人的建议,于1791年决定以地球子午线的一象限的一千万分之一的弧长为长度的单位,名叫1个米突(metre)。所以应该将地上的子午线作精密的测量,而建立起新的米突和旧的尺度(toise)之间的关系。

从敦克尔克到巴塞罗那的子午线的测量工作,由法国天文学家德郎布尔(Delambre)和默香(Méchain)担任。因革命和战争造成的种种困难,这工作经历十年方才完成,所得结果精确度超过从前,它作为标准被使用了很久。最终结果于1810年经德郎布尔刊布,法国的平均纬度的1度长57 025古尺,将这个数值和以前在秘鲁所测得的加以比较(拉普兰德的测量经证明为不正确),求得地球的扁平度为1/334,子午线的1象限长5 130 740古尺,这样便测定了长度的新标准^②。

地球的质量 不单是地球的大小,地球的质量的测定也是很重要的。直到17世纪,“称量”地球的想法,即使不是狂妄的,也是不可能的。可是到了18世纪就不是这样了。牛顿已经说过,如果他的万有引力定律是正确的,一座孤立大山的引力应该使铅垂线偏转一个角度,这是可用天文的方法观测天顶而量出的。

这样的观测曾经由法国的院士们在秘鲁测量经度弧长的时候尝

① 法国1古尺(toise)约合1.949米。——译注

② 新旧长度之间的关系大约是1古尺=1.95米=6英尺4.25寸(英制)

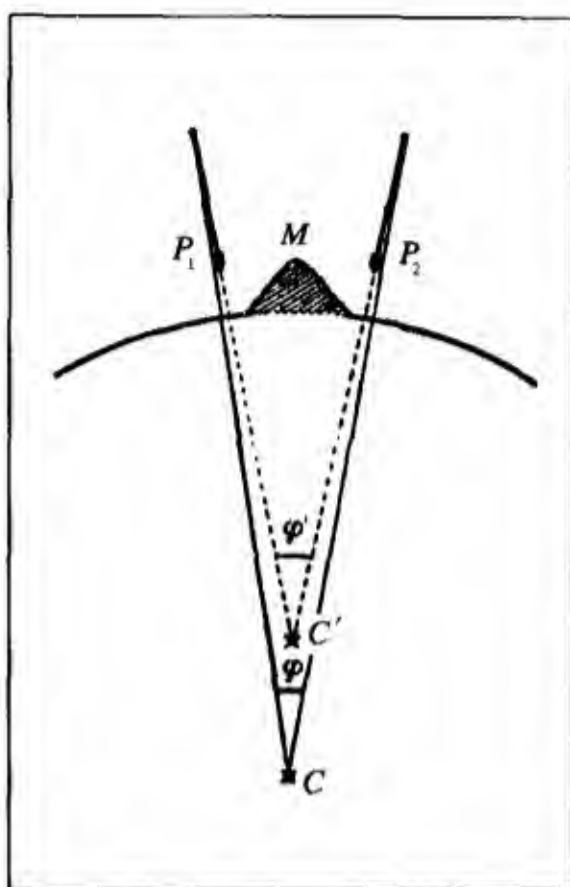


图9 一座山的摄引力(根据马斯克林)

由于 M 山的摄引力使铅垂线 P_1P_2 偏向, 汇聚在 C' 点, 而不在地心 C 点, 于是观测的纬度差 φ' 大于真正的纬度差 φ 。

试过,但是他们的测量不大精确,以致未能得出确切的结果。格林尼治天文台第五任台长马斯克利恩(Nevil Maskelyne, 1732 ~ 1811)首先对在佩思郡(Perthshire)的一座孤立的山所作的观测(图9),得到了决定性的结果。比较在山的南北两面对恒星方位所作的观测,他定出两处纬度的表面上差异。于是他用直接测量的方法求得这两处的距离。他测得由天文观测所得的纬度差大于由两地距离推出的纬度差,前者是 $54''.6$ 后者只有 $42''.94$ 。他断言这两个数值的差异 $11''.6$ 应当算为是那座山施在相反方向的两个力量所造成的。后来他又测了山的形状与大小,并推出所观测到的引力的效果,可以由下列的假说得到解释,即假设组成山的物质的密度为地球的平均密度的一半,换句话说即设地球的平均密度两倍于它的外层的密度。这个结果是很重要的,因为一方面它给予万有引力定律一个直接的证明,在天文的尺度看来即使像一座山这样的一小团物质,也表现其引力的作用,另一方面也证明地球的密度向内部增大,这样说明地球不像当时有些人所想像

的,是一个空球。最后他要大地测量者注意,应当避免山岳,因为它会使天文坐标的测定发生误差。这一点在 18 世纪末的大地测量的工作里已经被考虑进去了。

17. 太阳的距离

由开普勒的定律可以求得行星的距离的相对数值。事实上这些定律绘出太阳系按“比例缩小的模型”,但是要求得真实的尺度,我们须知“天文单位”的数值,换句话说即须知道地球太阳间的距离,而以地上所用的尺度如千米或英里去表示它。

直到 17 世纪,人们还不能使用当时的仪器,根据当时测量的方法去测量地球与太阳之间的距离,换句话说那时人们不能将测量者在地面上所用的方法推广到宇宙里去。这个方法是对地球附近的一颗行星作观测,观测处可在两个距离相当远的天文台,例如一在北半球,一在南半球,或者只在一个天文台,当行星初升起和快落下的时候去观测它,这样因地球的自转在空间的位移便做成了一条底线。从行星对于恒星细微的视位移,便可以算出行星的距离。由轨道的计算可以得出行星地球间在每瞬时的距离,并表为天文单位,所以太阳的距离是可以这样的观测求得的。天文学家经常不把太阳的距离的测量表为若干千米,而表为太阳在平均距离处,地球的赤道半径在那里所配的角度,这叫做太阳的视差。

将这种三角学的方法首先应用于测量行星的距离,在 17 与 18 世纪,已有人求得粗糙的,但是数量级是正确的结果。1672 年卡西尼由火星的观测求得太阳的视差为 $9''.5$, 马拉底(Maraldi)于 1704 年求得约为 $10''$, 布拉德累于 1719 年得 $10''.5$, 拉卡伊于 1751 年得 $10''.2$ 。

最早的精确结果是由哈雷建议,从金星过日面的观测(第三章 § 13)(图 10)而求得的。这方法的应用须等待到 1761 和 1769 年金星过日面的时候。许多天文学家在事前便作了准备,并且派出不少的远征队到世界各地去,希望这种行星凌日的现象在最好的情况下得到观测。不幸这现象并不如它在几何学的理论上那样简单,光学的、仪器的与大气的影响都使得观测很不可靠,因而结果便不如预期的那样可靠。由 1761 年一次凌日所得的结果由 $7''.5$ 到 $10''.5$, 弥散度很大。天文学家重新努力,希望于 1769 年的凌日观测得到一个更好的数值,关



17 世纪的天文观测

席奈尔在 1630 年出版的书中的插图,说明“太阳的黑子和光斑怎样被人固定不动”,下图用投影法观测黑子,现在还经常使用。

于这次观测有 200 多篇论文发表。这次求得的数值仍然有相当大的弥散,但是比前一次好得多,大多数结果在 $8''.5$ 至 $8''.8$ 之间。法国天文学家潘格雷(Pingré)分析了当时的全部资料,于 1775 年算出太阳的视差相当接近于 $8''.8$ 。在现今看来这是最好的数值,可惜没有引起当时人们的注意。

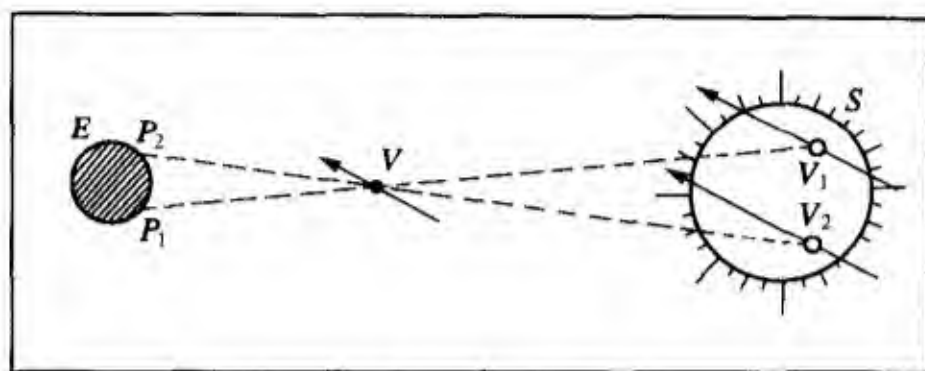


图 10 哈雷利用金星凌日测量太阳视差的方法

金星(V)凌日的时候,从地球(E)上的 P_1 、 P_2 两点同时观测,看见它投影在日轮上的 V_1 、 V_2 两点。循着两平行弦经过日轮。所以由观测求得 P_1VP_2 角,并可推出 P_1SP_2 角;如果 P_1P_2 弦之长等于地球的半径, P_1 、 P_2 角便是太阳的视差。

因为这两次以后的金星凌日,须等待至 1874 与 1882 年,天文学家在这一段时间里重新讨论过去的凌日的观测资料,以期得到最可靠的数值。1786 至 1815 年间各家所得的数字在 $8''.56$ 与 $8''.86$ 之间。

最完全的讨论是德国天文学家恩克于 19 世纪初所作的,他的结果是 $8''.57$,刊布于 1824 年。19 世纪上半期大家都公认这是太阳视差最可能的数值,并由此算出地球太阳间的距离是 1.53 亿千米,比现今的数值长了 350 万千米。

18. 天体力学的进展

18 与 19 两世纪方位天文学的发展期间,一系列数学家的工作使牛顿的天体力学达到很完善的境界,足以说明观测的精确度增加所表现出来的天体运动的一切特点。在这一方面有贡献的天文学家和数学家,我们应该提到的,有法国的克莱洛(Clairaut, 1713 ~ 1765)、莫佩屠斯、达朗贝尔(D'Alembert, 1717 ~ 1783)、拉格朗日(Lagrange, 1736 ~ 1813)、拉普拉斯(Laplace, 1749 ~ 1827)、普瓦松(Poisson, 1781 ~ 1840)、科希(Cauchy, 1789 ~ 1857)和德国的欧拉(Euler, 1707 ~ 1783)与高斯(Gauss, 1777 ~ 1855)。

最大的贡献或最有哲学意义的贡献是拉格朗日和拉普拉斯所作出的。

拉格朗日生于意大利,曾经在柏林工作很久,于 1787 年初方被路

易十六召到巴黎,次年他刊布了他的巨著《分析力学》,在这本书里他系统地叙述了他对太阳系稳定问题的计算。这里不能详细叙述这些研究的结果,我们只说拉格朗日研究的基本目的在于证明由观测而得的行星(特别是木星与土星)运动的各种偏离,实是由于行星间的相互摄动所引起的长周期的颤动。不像 18 世纪初人们所担心的,这些摄动绝不会使太阳系不稳定而终于解体,它们完全表现出周期性的变化,所以在长时期内太阳系是绝对稳定的。



火涛澎湃的太阳

太阳是高热的气体星球,表面温度约 6 000K,中心温度约为 1 500 ~ 2 000 万 K,热核聚变是太阳能量的来源,在太阳核心产生的能量要 100 万 ~ 1 000 万年才能传到表面释放使太阳形成火涛澎湃的“海洋”。这是太阳上外层大气激烈活动的图形,温度高达 100 多万 K。图像由 1998 年发射的太阳观测卫星用紫外望远镜拍摄,被誉为 20 世纪最佳天体照片之一。

牛顿的工作在拉普拉斯的天体力学里真正发展到了极高峰,这部书自 1799 至 1825 年分期出版,计有五大册之多。这部书的目的拉普拉斯说得很明白:“这部书的前一部分我们叙述物体的平衡和运动的

一般原理,把这些原理应用到天体的运动上去,使我们只用几何学的推理,而不作任何假设,便可将我们引到万有引力的定律。地心引力的作用和地面上抛射物的运动,只是这定律的特殊情形。我们讨论在这伟大定律下许多物体组成的系统,我们借分析数学对它们的运动与形状以及对它们表面所盖着的流体的颤动,得到一般的公式。由这些公式我们算出潮汐的涨落等已知现象、纬度每度弧长的变化和地面的引力、二分点的岁差、月亮的天秤动、土星光环的形状与自转等。我们也说明这些光环永久存在于土星的赤道平面内。我们根据引力的理论进一步推算出行星(特别是木、土两星)运动的基本方程式,这些运动的差数有 900 多年的周期。木星和土星运动的差数,天文学家起初以为是很奇特的,因为不明白这些差数的规律和原因,许久以来好像它们和引力的理论发生矛盾。但是由仔细的研究表明这些差数是可以从理论推导出来的,它们就成了理论真实性的最惊人的证明。”拉普拉斯就这样更进一步肯定了太阳系的稳定性和永恒性。拉普拉斯使用他计算的结果,编制了大有改进的行星运行表,继续为人使用到 19 世纪中期。

拉普拉斯更于 1796 年刊布他的《世界体系的解说》,这是一本很受欢迎的书籍,流行很广,因为他在这本书内提出了太阳系起源的一种假说。按照这个假说,太阳系起源于一个原始的星云,这星云围绕太阳转动,凝结而成几个环圈,这些环圈更团结而成行星。拉普拉斯从这假说说明了那时候所知道的许多事实。19 世纪内拉普拉斯的假说经人公认为太阳系起源的正确解释,可是以后经人证明行星不能按照拉普拉斯所说的方式形成,而且还发现许多新现象是拉普拉斯的理论所不能够说明的。

19. 天王星和小行星的发现

研究一下太阳系的缩图(图 11),你便会觉得火、木两行星的轨道之间有一个异常大的空隙。对比例和调和有特殊敏感的开普勒早已注意到这个空隙,并且设想有一颗行星在这空隙的区域里运行。但是这个假说和一般人对于行星数目只有五个的偏见发生矛盾,因而未能引起人们注意。

18 世纪后半期这假说又引起大家的兴趣,因为在 1772 年,柏林天文台台长波德(J. E. Bode, 1747 ~ 1826)宣布了数年前提许斯(J. D.

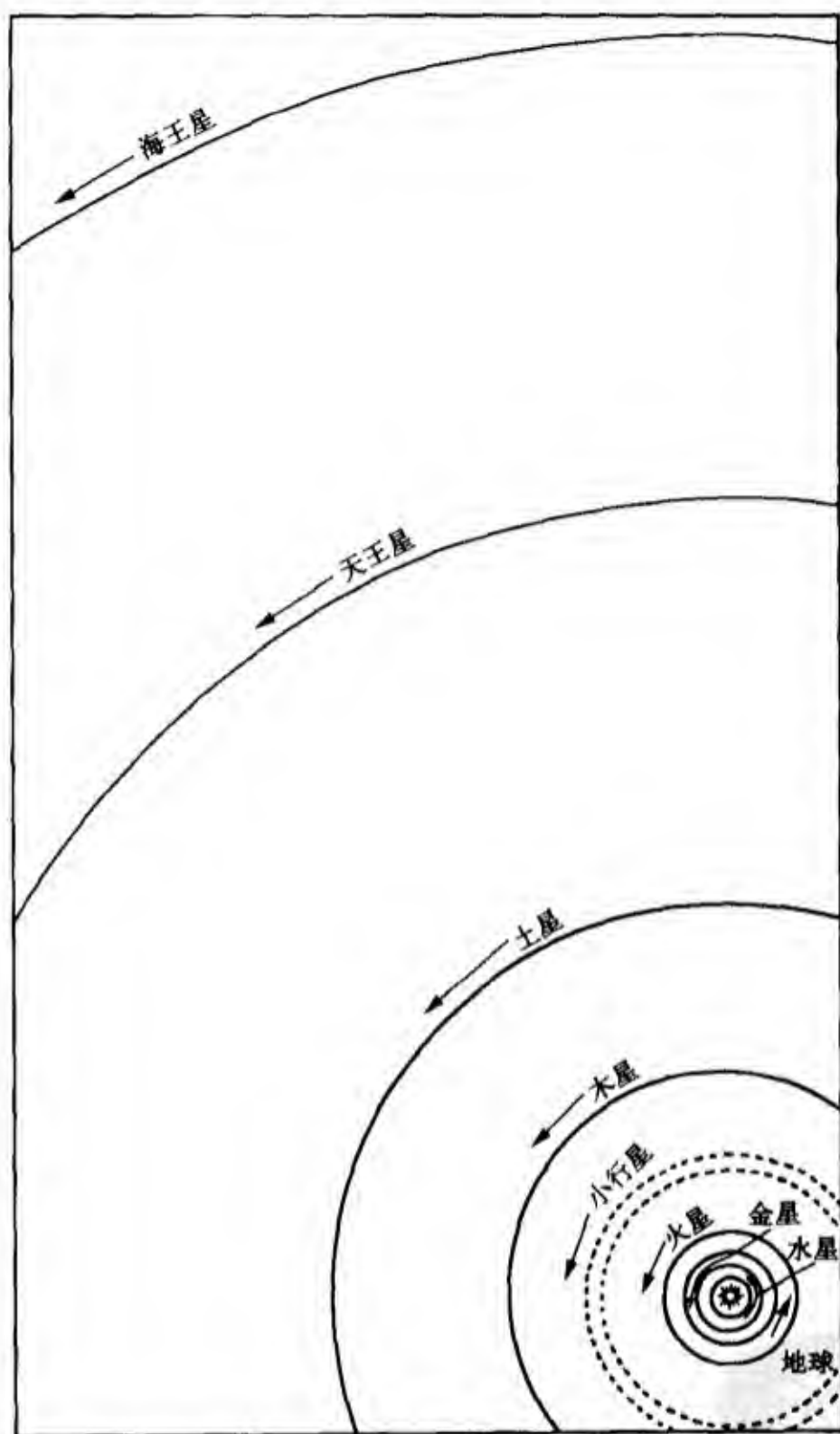


图 11 太阳系的缩图
比例尺:1 厘米 = 3.2 亿千米

Titius)对于行星排列的次序所觅得的一个规律(这规律因而叫做波德律)。按照这个定律,各行星和太阳之间的距离是在 0.4 上加 0.3 和 2 的连续几个整倍数的乘积^①,如下表所表示的那样:

① 公式是 $0.4 + 0.3 \times 2^n$, 从金星算起, n 顺次为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。——译注

行星	波德律	观测值
水星	0.4	0.39
金星	0.7	0.72
地球	1.0	1.00
火星	1.6	1.52
—	2.8	—
木星	5.2	5.20
土星	10.0	9.54
天王星	19.6	19.18

由这个表来看,波德律所给的那一系列数字是很正确地表示当时所知的行星(水、金、地、火、木、土)的距离的。波德律宣布以后不久,已入英国籍的在德国出生的天文学家威廉·赫歇耳[他的事迹以后还要详细叙述(第四章 § 23)]于 1781 年作了一个惊人的发现,那便是在土星之外又找到一个新的行星。这个发现是很重要的,因为它表明自古以来人们就以为土星是太阳系的边界,而现在却在这边界之外还有新的天体出现。

赫歇耳因为另外一种研究,正系统地作巡天的观测,忽于 1781 年 3 月 13 日,在双子座里发现一颗异常的星。他看见那颗星每夜移动它的位置,不管它的外貌,他把它当做是一颗彗星,因为他绝没有想到这是一颗行星。他用抛物线或极长的椭圆去表示这颗新“彗星”的轨道总没有成功,他终于觉察这个轨道实际和平圆周接近,那么这个新天体事实上是行星,而不是彗星。据计算求出这颗行星的轨道半径 19 倍于天文单位,与波德律所预测的很相符合。自那时以后,波德的数序好像成了一个真实的自然定律,从水星以至天王星都得到了完全的证明,只是火、木两行星之间相当于 2.8 天文单位的区域里有一个空隙而已。

因此,在 18 世纪末有几位德国天文学家担任起寻找轨道可能在这一区域里的行星。他们还没有着手进行计划的时候,一位意大利的天文学家皮亚齐(G. Piazzi, 1746 ~ 1826)于 1801 年 1 月 1 日偶然发现在繁星间运行的一个小光点。不久他就认出这是一个新行星,它的轨道根数被德国数学家高斯使用他刚发明的“最小二乘法”所算出。这颗新行星和太阳之间的平均距离是 2.77,和波德律所预言的 2.8 那个数字很是接近。这样,这数序的空隙已经被填满,可谓完满的成功了。

但是 1802 年德国天文学家奥耳贝斯 (Olbers, 1758 ~ 1840) 又发现另外一颗行星, 使得天文学界感觉有点茫然。这以后在 1804 与 1807 年又有人在同一区域里找到两颗行星。所以在 19 世纪初期有四颗行星经人发现在太阳系的这一区域里, 它们是谷神星、智神星、婚神星与灶神星。因为它们的体积很小, 被人叫做“小行星”, 奥耳贝斯说它们是一颗大行星崩裂后的碎片。直到 19 世纪中期还没有别的小行星为人发现(第四章 § 29)。

20. 海王星的发现

检查 18 世纪中对恒星所作的观测, 我们就会发现人们对天王星曾经作过几次观测, 不过观测的人把它当做是恒星罢了。根据这些观测和 1781 年以后的观测, 天文学家便计算出了天王星的运行表。

1821 年法国天文学家布瓦尔 (Bouvard) 所刊布的天王星的运行表, 对 1781 至 1821 年间的观测表示得很好, 可是和老的观测就不太相合。布瓦尔猜想这不相合的原因究竟是老的观测的误差, 还是由于行星在其行程里所受的某种未知的摄动。

到了 1830 年, 这后面的一个假设愈来愈显示出其正确性, 因为天王星被观测到的位置又与星历表上所预推的不相合了, 而且这差异迅速增大起来。有几位天文学家就严肃地考虑到这可能是由于天王星轨道之外一颗新行星所起的摄动作用。虽然从已知的行星去计算它所施的摄动成了经典的问题, 但是要解决和它相反的问题, 即从摄动的效果去求未知的摄动星, 却是很难的问题。

可是在 1844 至 1845 年间有两位天文学家同时做了这个工作, 一位是英国的青年数学家亚当斯 (J. C. Adams, 1819 ~ 1892), 另一位是巴黎天文台的勒威耶 (U. J. J. Le Verrier, 1811 ~ 1877)。

勒威耶因研究天王星运行反常的问题, 作了一系列报告, 送呈法国科学院。1846 年 8 月 31 日, 他的最后一篇论文, 题目叫做《论使天王星运行失常的行星, 它的质量、轨道和现在的位置的决定》。在这篇文章内他写出这颗行星由计算得来的轨道根数。几个星期以后, 1846 年 9 月 25 日, 这颗行星真的被德国柏林的天文学家加耳 (J. G. Galle) 所发现, 离勒威耶所算出的位置相差不到一度。

这颗新行星由纯粹计算而来的预测, 得到这样显明的证实, 引起



天王星

由“旅行者”2号探测器拍回的照片中天王星在中间和天卫V(上)、天卫I(下)以及左边从上往下的天卫Ⅲ、天卫Ⅳ、天卫Ⅱ。天王星共有21颗卫星和一些环圈。

当时的人无比的热情。建议勒威耶从事这一研究的巴黎天文台台长阿腊果(F. Arago)说道:“天文学家有时偶尔碰见一个动点,在望远镜里发现一颗行星,可是勒威耶先生发现这个新的天体,却没有朝天一瞥,他在他的笔头的尖端便看见这颗行星了。只靠计算的力量,他决定了我们所知道的行星系的疆界之外的一个天体的位置与大小,这是离开

太阳12亿里^①的一个天体,在最大望远镜里也看不出它的圆轮来的。”

须得公允地提一下,同样的计算同时在英国也被亚当斯作出,求得差不多相同的结果。不幸的是亚当斯那时还是一个很年轻的大学生,他呈交给当时御前天文学家艾里(Airy)的计算,没有引起热情的支持。1846年夏季查利斯(J. Challis)还在剑桥天文台用目视法寻觅这颗行星的时候,勒威耶的结果和加耳的观测已经公布了。^②

天体力学这一惊人的成就是牛顿的理论最高的光荣和最后的印证(如果还需要印证的话)。天体力学好像是完成了,但是不久又发生了新的困难。

21. 月亮的理论与水星的运动

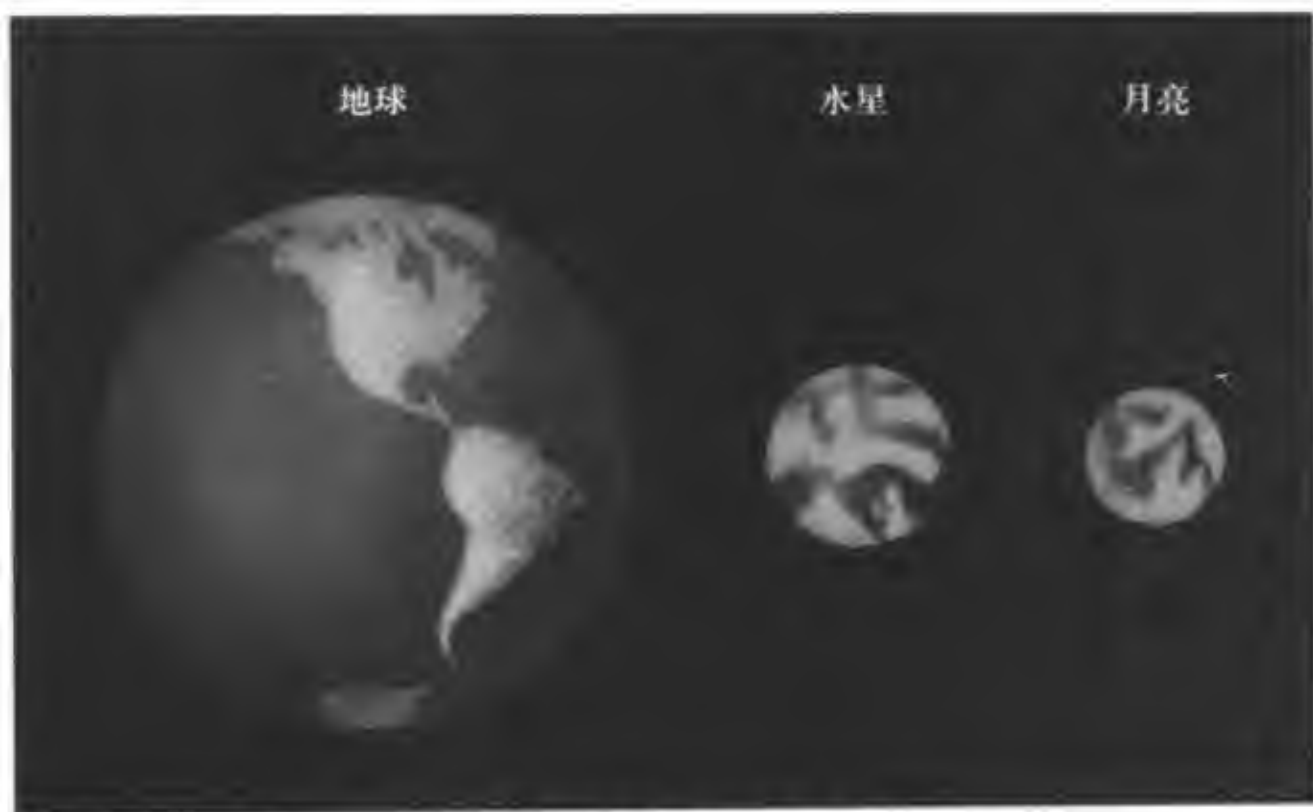
以上有几处提到天文学家在月亮的运动上继续发现几种差数,在17和18世纪,这些差数能否得到解释是对牛顿的理论的考验。月亮运行的复杂问题常使天文学家操心,月亮运行表的计算常是方位天文学和天体力学的主要问题。

从18世纪开始,人们已经知道纯粹根据牛顿的理论所算出的结果不能适当地说明观测,因此哈雷须得根据观测,作出经验的校正数。他在1719年编了一套表,1749年他死后才得以刊布。可是,那些表仍然不很好。1753年德国天文学家默耶尔(Tobias Mayer, 1723~1762)又编制一些新表,经过18世纪后半期,天文学家用它来编算月亮的年历。

从理论上讲,这不是满意的解决。法国科学院采纳1820年拉普拉斯的建议,悬赏奖金以期取得纯粹根据理论计算的月行表,于是月亮运行的理论研究再度活跃起来,先有法国的达木瓦佐(Damoiseau),继有意大利的普拉纳(Plana),他们编制的表出现于1824与1832年,他们的工作在19世纪中由德国天文学家汉森(Hansen)继续做下去,他的月行表于1857年由英国政府刊布,那时汉森的表被认为已经完全解决了问题。不料经过一些时间月亮总要离开计算的位置。天文学家认识到短期差项虽然算得不错,但是长期差项仍然表现出理论上的欠缺。这一问题使得许多天文学家劳心苦思,一直到今天(第六章§41)。

① 这是法国的古里,1古里等于55 555米。——译注

② 关于海王星发现与争辩的经过近代叙述可参考 *L'Astronomie*, 60卷, 1946, 225~278页。



水星、地球、月亮三体的比较

行星运动的理论也表现出很大的缺陷。勒威耶研究天王星的运动发现了海王星以后,便着手重新修订行星运动的全部理论,不但将新行星计算进去,并且也将拉普拉斯以后所作的观测全部使用。他于是算出诸大行星的表,沿用到 19 世纪末,可是这些表也不能完全表现行星的运动,最主要的差数是在水星近日点的运动上。根据摄动的理论,别的行星的影响应该使水星轨道的长轴发生一种缓慢的旋转,观测表明实际的运动比理论所推出的要大一些,就是说水星的近日点在每一世纪里比理论所推出的多前进了 $38''$ 。勒威耶受了海王星发现的鼓舞,于 1859 年宣布这个差异可以解释为水星轨道之内的另一颗未知行星的影响。同年(1859)一位法国业余天文学家说他看见一小黑点经过日面,于是有人以为这正是那一颗预料的行星,并且把它命名为“火神星”(Vulcan)。勒威耶立刻算出它的轨道,并且宣布下几次凌日的日期,不幸这个被人期待的行星从来没有如期出现,虽然世界各地的天文工作者努力搜寻了二十几年,可是从来没有人看见过它。^①

水星近日点的运动一直到半个世纪后相对论公布以后,才得到了解释。

^① 火神星的故事经埃根(Q.J. Eggen)写出,刊布在太平洋天文学会出版的 *Leaflet* No. 287(1953)上。

第四章

18 世纪末至 19 世纪中近代天文学的诞生

I. 恒星系

22. 先驱者

18 世纪以前天文学家对恒星本体很少发生兴趣,他们只把恒星当做定标点来测量,用以编制更广大的星表。

自上面说过的惠更斯和哈雷的发现以后,18 世纪中期的人已经明白恒星是很远方的太阳,从这时期起有一些敢于思考的人开始研究恒星在空间的分布和恒星系的性质。在这一方面有三个人值得提及,即英国的赖特(Thomas Wright,1711~1786),德国的大哲学家康德(Immanuel Kant,1724~1804)和法国的物理学家朗白尔(J. Lambert,1728~1777)。这三个人都独立地得到相同的结论:恒星可能组成一个有限范围的伟大体系。^①

按时间顺序说,最早的一位是赖特。他于 1750 年刊布一篇题为《宇宙本源论》的文章讨论了银河的现象,他首先把这环绕天穹的发光圈加以理论的解释,大体是和现今的看法相合的。为了解释恒星在银河方向的密集现象,他假设天上所有的星组成一个很扁平的透镜状的

^① 瑞典学者斯维登堡(E. Swedenborg,1688~1772)亦有同样的见解,刊布在他的书《自然的法则》(*Principia rerum Naturalium*,1721~1734)之内。

集团,和车轮或薄饼的形状相类似,太阳便是其中的一个成员(图 12)。他说明这样的分布在我们眼里,便形成银河的形象,他甚至说天球上银河轮廓的不齐一,是因为太阳的位置不在我们的星系的中心。这一个凭直觉的卓越见解,只在近几十年才经人证实。

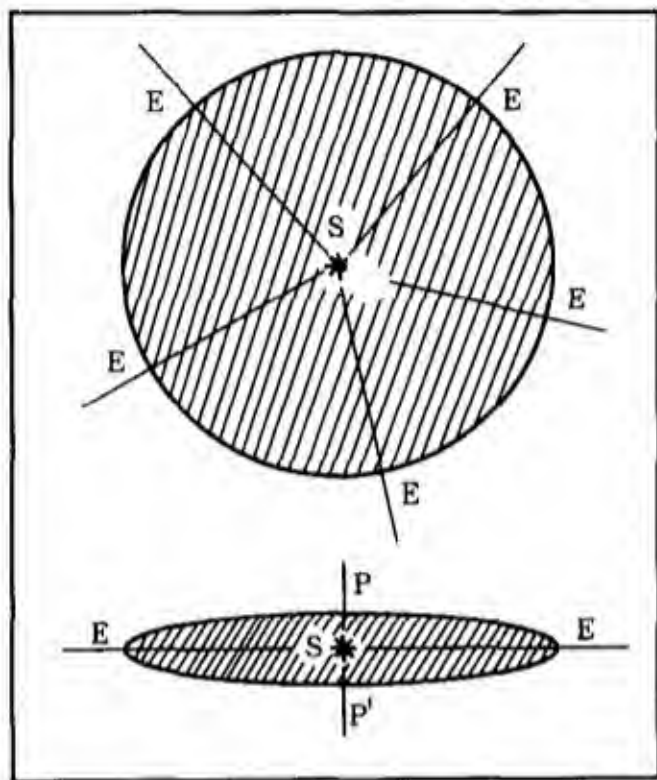


图 12 赖特与康德对于银河形象的解释

太阳周围广阔扁平星系内恒星的分布造成银河的形象,因为在银道面内 SE 各个方向上星数累积,使人感觉星很多,至于在两极 PP' 的方向所能看见的星就比较少些。

同样的意见也被康德提出于 1755 年刊布的《一般自然史与天空的理论》一书中。康德将这样的理解更推进一步,他说:我们的星系如果是包括银河在内的有限的孤立集团,那么远离银河的空间内必定还有别的孤岛式的星系。他凭借天才的颖悟,将那时所知道的几个星云当做是银河系^①以外的恒星宇宙。他更凭借正确的理解说明我们的银河星系从辽远的空间观看,也必像是一个不很明亮的小轮,和望远镜里星云的形象完全相似。他曾经这样说道:

“不要把这些星云看做是个别的大星,而应当看做是很多星的集

^① 银河系(Galaxy)从希腊字 Galaxias(银河)而来,现在用来指空间的恒星系,而银河(Milky Way)是指银河系在天球上所表现的外貌。



大麦哲伦星云 LMC

南天星空的珍宝,最早由麦哲伦在初次环球旅行中发现而命名,是最近的河外星系,距离为 16 万光年。它和距离 20 万光年的小麦哲伦构成双星系。

团,那才是更自然、更容易理解的,因为它们距离的辽远,使得它们看去像是拥挤在一个窄小的空间内,我们看不见每一颗星的光,我们所看见的均匀暗淡的微光是无数星点的总和的效果。这些星云和我们的星系相似,根据我们的理解它们应有那样的形状,因距离遥远,它们的光亮所以是微弱的,这一切现象都和我们的看法相合:这些椭圆状的星云都是宇宙,都是我们刚才说明了结构的银河星系。”

但是我们必须提一下,在康德的时代,天上所有的弥漫物都归纳为一类,其中许多不是我们今天叫做银河系以外的“岛宇宙”。这些暗淡天体大多数是星团或空间弥漫的气体物质。虽然如此,康德的直觉是卓越的,他的一般的见解今天已经得到完全的证实(第六章 § 44)。

康德对天文学的研究还有别的贡献。他首先说明太阳的位置稍微在银河赤道的北面,他也倡导因潮汐的摩擦作用,地球的自转运动发生很缓的变慢。最后他还首先提出行星起源的假说,这便是经拉普拉斯加以阐发的星云假说(第三章 § 18)。



双子座

右上方有一广大星团 M35,附近有几个小星团。

最后,星系由小而大的分级的见解经朗白尔提出,于 1761 年刊布在他的《宇宙论书简》之中。书中总结的话是这样的:

“引力的定律普遍作用于一切物质。星星受向心力在轨道上运行。银河包含几个恒星系,在银河以内的组成一个星系,那便是我们的星系。因为太阳是一颗恒星,像别的恒星一样,环绕一个中心运行。每一个星系有它的中心,几个星系有一个公共的中心。这些集团的集团更有各自的中心。最后,整个世界有一个万有的中心,一切物体都绕它而运行。这些中心不是空虚的,都蕴藏了不透明的物体。”

虽然最后这一段话有一些怪诞,可是想到太阳周围的“本星系”和银河星系的自转(第六章 § 43),我们也不能不把它看做是一种卓越的预言。

总之,早在 18 世纪中期,有几位思想家已经由比较推理认识到恒星天文学上的一些基本事实:恒星组成有限的星系,它外边还有别的星系。可是要到 18 世纪末,这些玄想才由系统的测量和星数的统计,得到观测结果的支持。

23. 威廉·赫歇耳^① (William Herschel, 1738 ~ 1822)

哥白尼因揭露行星运行的真相被人叫做行星天文学的创始人,威廉·赫歇耳开辟了恒星研究的道路,可以算得上近代恒星天文学的创始人。

威廉·赫歇耳在其故乡哈诺瓦度过困苦的童年,于 1758 年迁居英国。到了英国,作为演奏风琴的音乐家,他经过了长期的奋斗生活。他对天象研究很感兴趣,用自己的双手制造了比以前大得多的反射望远镜。经过了不可计数的失败以后,他于 1776 年终于制成一架牛顿式的反射镜(焦距 2 米,口径 15 厘米),并用它来作他首次巡天的观测,由他的妹妹嘉罗琳(Caroline Herschel, 1750 ~ 1848)做他的助手。

就是在这些系统的观测里,他于 1781 年发现了天王星。这个惊人的发现既引起整个欧洲的注意,赫歇耳本人更得到英王乔治三世赐以年俸,他于是尽全力从事望远镜的制造和用望远镜来观测天象。他继续制成一座焦距 6 米的(1787)和一座焦距 12 米(1789)的大型望远镜,大的这一座(内径 120 厘米)经历半个世纪仍然是当时最大的望远镜。但是赫歇耳最有贡献的观测是用中型而不太笨重的望远镜(焦距 6 米,口径 50 厘米)所作出的。

赫歇耳对太阳、月亮与行星作了许多观测,他发现土星的卫星和天王星的卫星各两颗(第四章 § 29)。但是他的最伟大而最有意义的发现,当是在恒星天文学的范围内。

他在这方面的第一个发现,于 1783 年作出,那是太阳的自行。我们说过哈雷于 1718 年发现几颗恒星的自行,布拉德累于 1748 年,朗白尔于 1761 年,先后指出恒星的视位移可能是太阳的自行和恒星的自行综合的缘故,默耶尔甚至利用一些恒星的自行去探寻太阳的运动,但是没有成功。

^① 旧译“侯失勒”。——译注

1783 年赫歇耳考察了经马斯克林确切定出的 7 颗恒星[天狼(大犬座 α 星)、北河二(双子座 α 星)、北河三(双子座 β 星)、南河三(小犬座 α 星)、轩辕十四(狮子座 α 星)、大角(牧夫座 α 星)、河鼓二(天鹰座 α 星)]的自行,说明这些运动,按它们在天球上的位置,有一致的倾向,反映出太阳在空间的运动。对这几颗星的自行的仔细研究,使得他表明了太阳必然向武仙座方向运行的空间运动。他说:

“我们知道若把太阳搬到恒星的距离那样远的地方,它便会像一颗恒星,据比较推理我们断定恒星也是太阳。这 7 颗星的视运动可以由两种假说得到解释:它们就是像它们的视运动那样在运动,或者太阳也有一种运动(方向和我所求得的方向相近)掺杂在那里面。我想我们无权假设太阳是静止的,正如我们不应该否认地球的周日运动那样。”

赫歇耳以后,他这一发现再由 27 颗星的自行(由拉朗德推出)而加以证实,他由详尽的分析,求出太阳运动的方向指着武仙座 λ 星附近的天空,与现今测定的数值相差不到 10° ,可算是一个相当好的结果。太阳运动指向天球上的这一点叫做向点(图 13)。

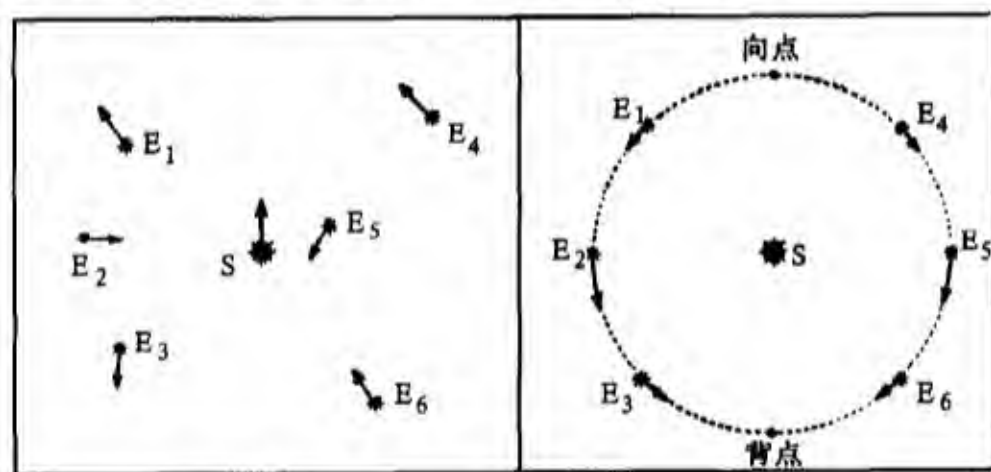


图 13 太阳的自行(W. 赫歇耳, 1783)

左图是太阳对着“向点”在空间的固有运动表现在天球上的效应;右图便是恒星的视运动有汇聚在与向点直接相反的“背点”的趋势。

我们须提一提:19 世纪早期的天文学家对于赫歇耳的结果与结论还有一些怀疑,可是 1837 年德国天文学家阿格朗德尔 (§ 27) 使用更繁复并且很令人折服的办法,终于证实了这一运动。

正如哥白尼摧毁了地球是静止的武断,证明地球和别的行星一样运动,赫歇耳也打破了静止的太阳的假说,证明太阳和别的恒星一样在空间中运动。

赫歇耳的另外一个基本发现是在相对轨道上运动的双星。从 17 世纪中叶到 18 世纪,有一些天文学家常碰见一些星,肉眼看去是单星,在望远镜里却是双星。最先被发现的便是大熊座 ϵ 星(中文名开阳),它的成双性于 1650 年便经里希奥利发现。但是双星一向被人当做是空间同方向的两颗星,因透视作用,偶然凑合在一起的。可是 18 世纪中有几位哲学家,特别是英国人米切尔(J. Michell)注意到双星的数目与两星间的距离和透视上偶然接近的假说是不相合的,因此双星必定是有物理上的联系。可是对双星的系统观测,是从赫歇耳才开始的。1782 年他编制了一个含有 260 对星的双星表,其中 227 对是他发现的。他于 1784 年刊布的第二个双星表中有新双星 284 对。

赫歇耳对双星发生兴趣是因为他想由密接的两颗星去寻找以前的天文学家所未找出的“恒星的视差”。事实上他想利用伽利略所设想的一种方法:精细地测量双星间的距离,因为这一对星中一颗可能很远,一颗可能很近,远星作为近星标志点,这样的测量便可证明近星对于远星的视差的改位。赫歇耳就抱着这样一个目标,去经常测量一些双星的相对位置。赫歇耳虽然没有测得恒星的视差,可是在 1802 年他被引到一个同样重要的发现上去:一些双星确实遵循相对的轨道而运行。那一年他终于证实他所观测到的大多数双星不能解释为透视上的偶然接近,他更说明自从他的观测开始以来,有些双星的成员的相对位置已经逐渐改变,表现为一星绕另一星在作周期性的运行。1804 年他再度肯定他这一发现,说明大多数双星实在不是表面的“光学双星”,而确是真正的“物理双星”,它们相互间的引力使它们有物理的联系(图 14)。

这是一个很重要的发现,因为由此可以说明牛顿的引力定律真的是“万有”的,而在此以前还没有人能够在太阳系以外去证明这一事实。赫歇耳以后,双星运动的研究确切地证明了开普勒的定律和牛顿的定律在离地球辽远的恒星系里一样有效。这是天文学的一大进展,因为人们可将太阳系里的运算应用到更广大的星系里去。我们要说须等到 20 世纪,天文的探索才达到牛顿定律不能说明的遥远空间(第六章 § 44, § 45)。

赫歇耳一生最重要的观测工作都集中在恒星系的问题上面,即他所称的“宇宙的结构”上面。他数计星的数目,系统地推广到英国可见的整个天空,自始至终就抱着这个目的在工作,这样的计数到了 1785

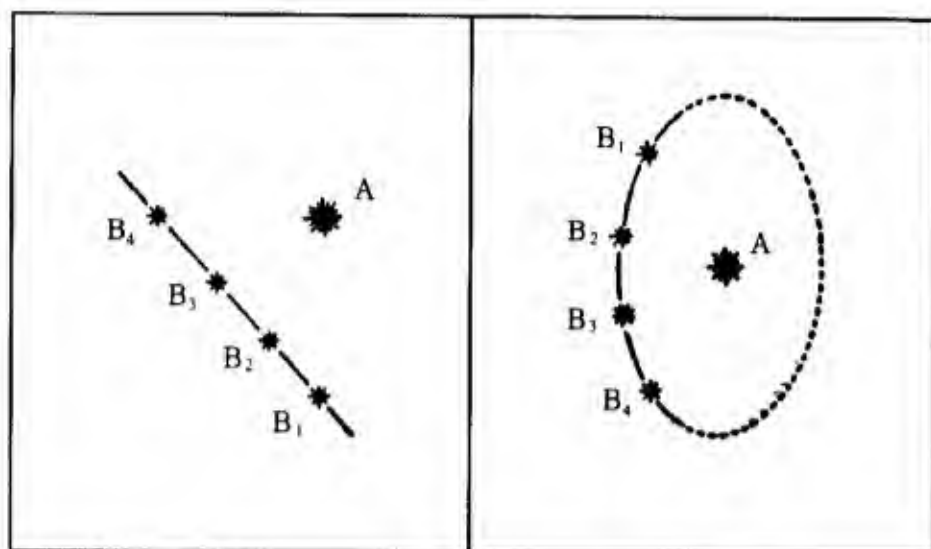


图 14 光学双星与物理双星(W.赫歇耳,1802)

左图:光学双星是在观测者视线上恰好接近的两颗星,可以由它们各个的自行的综合效应所造成的等速直线相对运动,而得证明。

右图:物理双星是空间有实际联系的两颗星,可以从它们共同的自行以外的椭圆轨道运动,而得证明。

这两种双星的区别在图上表示在 B 星对于 A 星(当做固定看的)的几个位置上。

年使他采取赖特、康德和朗白尔关于银河结构的理论,使扁平状星系的假说建立在稳固的统计基础上面。为了解释银河的外貌和它在天鹅座到人马座的方向上的分叉,赫歇耳假设太阳在银河系中心的附近,这星系在周界上有一部分重叠,如图 15 的情况那样。至于银河系的大小,因为那时对恒星的距离一无所知,赫歇耳没有办法作确切的测定。为了避免这个困难,他选定一等星的“平均”距离为量度单位去估计银河系的大小,直径约 950 单位,厚约 150 单位。他的这一估计有些过早,因为第一,他错误地假想他的 6 米焦距的望远镜使他看见银河最外沿的恒星,可是他的 12 米焦距的望远镜表现更暗的、从前没有看见的星,他便认识到了他的错谬;第二,一等星的“平均距离”那个看法完全没有意义,因为根据近代的研究,恒星自身亮度的差异非常大,距离绝不是视亮度的主要因素。还有别的因素是赫歇耳在当时所不能想到的(第六章 § 42)。

以后,赫歇耳也明白了银河的构造比他起初所想到的要复杂得多,他总结说银河系的深度是“不可测量的”。

赫歇耳根据他自己的观测改革了康德以为天空的暗星云都是星



昴星团(七姊妹星团)M45

金牛座中肉眼都能看到的星群,距离 410 光年。是数百粒年轻的蓝色星群,年龄可能只有 5 000 万年。星光照亮了周围的气体云雾,好像七姊妹飘散着美丽长发。

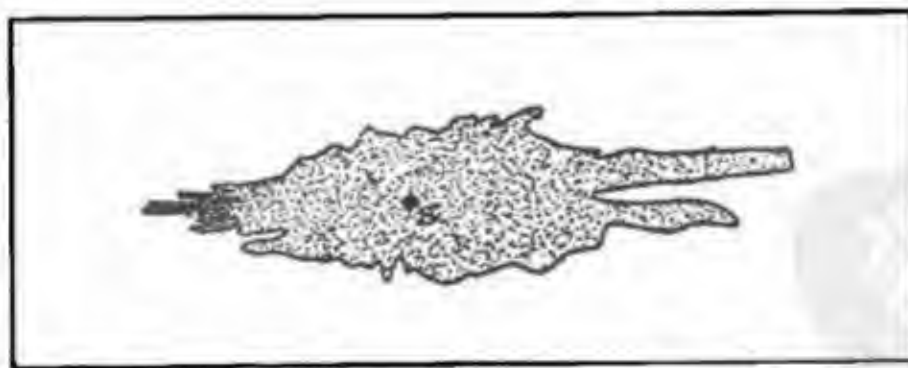
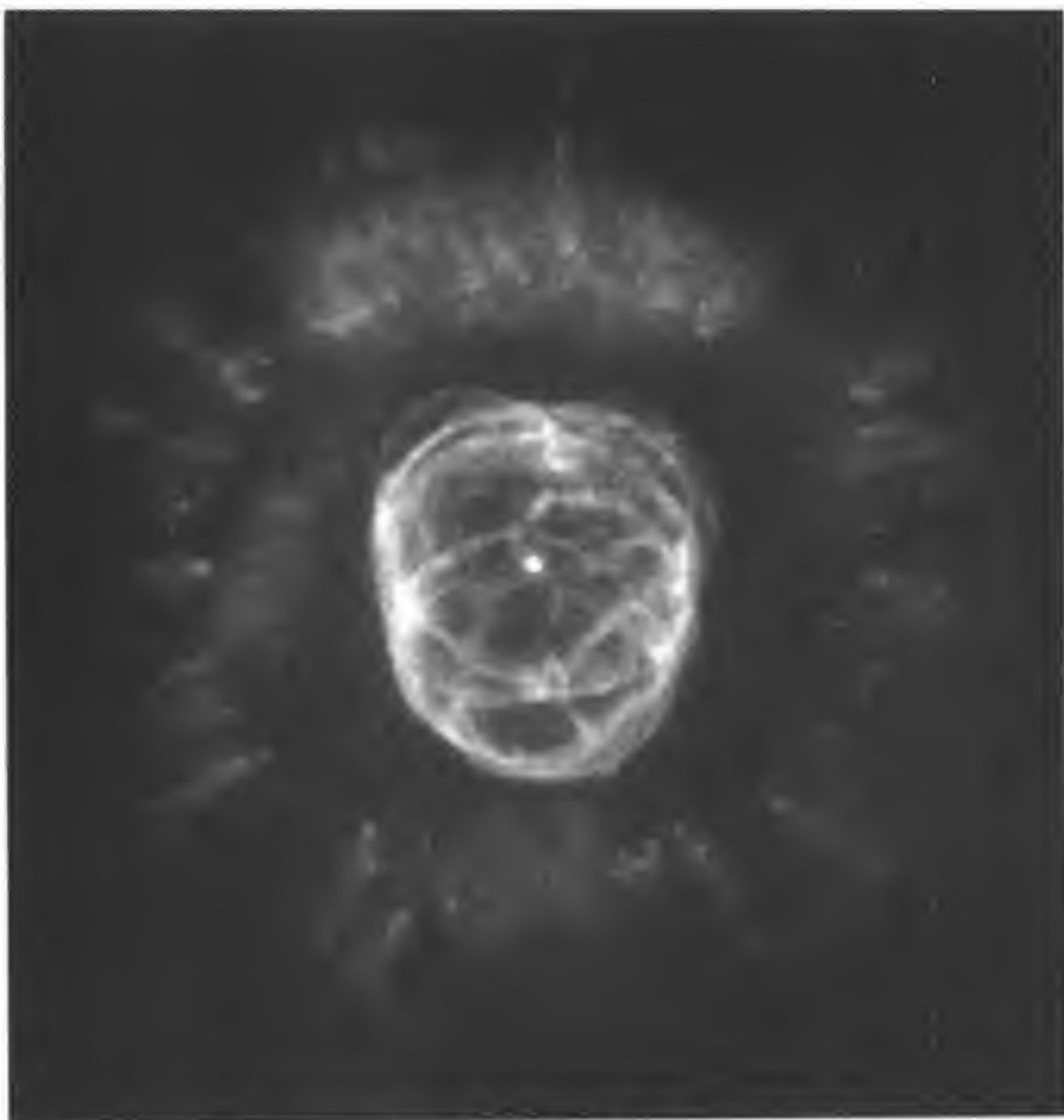


图 15 W.赫歇耳的银河截面图(1785)

系(因为它们距离太远,我们不能分辨个别的恒星)的见解。自从康德以后,由于法国天文学家梅西耶(Ch. Messier, 1730 ~ 1817)的观测,主要是赫歇耳本人的观测,经人记录下来的星云数目大有增加。梅西耶本是一个彗星的勤勉观测者(第四章 § 30),他在观测时常将天空中的星云误认为暗淡的彗星,他于是记录下他在观测中偶然碰着的星云 103



爱斯基摩星云

位于双子座,距离 5000 光年,由中心而将衰亡的恒星向外喷发气体而形成双层的环,由哈勃空间望远镜拍摄。

个,于 1781 年刊布他的星云录。这时候赫歇耳开始从事他的探天工作,他很惊奇地在他的大望远镜里发现梅西耶所说的“无星的星云”常被分解为一群暗星,他更断言他的望远镜所不能分解的星云,在更大的望远镜里也会被分解的。他感觉这是康德的假说的很稳固的基础,而且他更不迟疑地说我们的银河系是一个特殊类型的星云,可以放在他的分类的系统里去。赫歇耳在他的望远镜里看见许多他的前人所不能看见的星云,他建立一种根据星云外貌的分类法,他的星云表里,有从完全分析成单颗星的星团到没有丝毫结构的暗淡的弥漫星气。

我们现在知道这个分类法是虚妄的,因为它将极不相同、不可调和的物体归纳在一起。举例说,一种梅西耶叫做“无星的星云”的天体,经赫歇耳分析,绝不是银河系外的星云,而是和我们的星系密切相关的“球状星团”(参看第六章 § 43),可是真正和银河系同类的星系却被混淆在弥漫物质所形成的真正星云里去,而没有区别了。

赫歇耳在他观测的过程里,修改了他起初的见解,承认有些星云在本质上是“不可分解的”,“它们是我们全然不知道的一种发光的流体”,这类星云有些叫做弥漫星云,例如猎户座内的弥漫星云,还有一种赫歇耳叫做“行星状的”星云^①,这是因为它们表现有和行星类似的发光的圆轮。1791 年赫歇耳考虑到这些弥漫物质可能凝成恒星,1811 年他更根据他列为表册的 2 500 个星云,表明在这些天体里从弥漫物质以至凝固恒星之间有许多过渡的形式。我们现在知道这样的分类大体是虚妄的,星星不是经过像赫歇耳所说的那些阶段而形成的,可是他的工作却开辟了恒星起源的研究,直到今天还在进行,没有得出结论。威廉·赫歇耳的工作跟着就由他的儿子继续下去。

24. 约翰·赫歇耳 (John Herschel, 1792 ~ 1871)

1816 年约翰·赫歇耳才 24 岁,就开始做双星的观测工作,这无疑是由他 78 岁的老父吩咐进行的。1820 年在他的父亲的指导下,他制成一个焦距 6 米的望远镜(口径 45 厘米),他以后大部分的工作都是用这个望远镜做成的。

他与一位英国的天文爱好者叟思(J. South)合作,观测双星,证实他父亲所发现的双星的有轨道的运动。1827 年法国人萨瓦里(Savary)首先表明大熊座 ϵ 星有双星的运动,可以用椭圆轨道来表示,按开普勒定律运行,周期是 58 年。1831 年约翰·赫歇耳说明为了表示双星的相当粗疏的观测,由图解的方法已经足够决定轨道。从那时以后很多天文学家改进这种图解或半图解的方法,使积累的大量观测资料迅速得到整理。

1825 年约翰·赫歇耳用他的望远镜对他父亲所发现的星云作了彻底的复查。他将这一研究结果于 1833 年刊布在一本包含 2 306 个星

^① 这不恰当的名词不幸因习用被承认了。



球状星团 NGC104

距离 1.5 万光年,像盛开的菊花,由几十万颗恒星组成,在杜鹃座。

云和星团的书内,其中有 525 个是他新发现的。在他这些巡天的工作里,他还发现 3 347 对新双星。他的观测是在英国做的,自然他所看见的只有南半球的一部分。赫歇耳感觉应该把他的研究扩充到整个南半球去,以期在整个天球上取得既完全又均匀的数据。因此他决定效法哈雷和拉卡伊,带着仪器到南部非洲去。他在好望角附近度过 1834 ~ 1837 三个年头。他的工作结果刊布于 1847 年,他观测了 2 000 多对双星和 1 700 多个星云,其中 300 个是新发现的。他特别仔细地观测了两个麦哲伦星云,这是南半球内肉眼可以看见的突出在银河背景上的弥漫状的星云。赫歇耳用他的望远镜发现这些“云”具有异常丰富的内容,他在大麦哲伦星云里数到了 919 个不同的天体(其中有 278 个星云和星团),在小麦哲伦星云里有 244 个天体。他由这一研究断定“这些星云可以看做是南半球特有的一种星系”。这见解稍微加以修改,便得到现今天文学家的证实(第六章 § 43, § 44)。

赫歇耳居留好望角的时候,也由实际的观测,对恒星的相对亮度

作了系统的研究,他用从远处棱镜反射的月光作为比较。这些测量虽然粗糙,可是由此求出 191 颗星的相对亮度,取半人马座 α 星为比较的标准,最后他更将这颗星和满月比较,求得满月有 27 408 倍的明亮。因为那时他已经大略知道太阳和月亮的相对亮度,而且有几颗星的距离恰好经人测得 (§ 25),他这一工作首先可将几颗星的自身亮度和太阳的自身亮度加以比较。在这以后的天文光度学的进步,使得这种比较的精确度大有增加(第六章 § 42)。

在他居留好望角期间,发生了一个奇特的、到今天还是惟一的现象,那便是船底座 η 星的骤然明亮。哈雷逗留圣赫勒拿期间(1677)估计这颗星为 4 等星,18 世纪中经拉卡伊估计为 2 等,到 19 世纪初又变为 4 等。约翰·赫歇耳到南部非洲的时候,测量为 2 等。在 1837 年 12 月与 1838 年 1 月之间他很惊异地观测到这颗星和最亮的一等星在竞相发亮。赫歇耳回国以后,这颗星还在增加亮度,1843 年它差不多和天空最亮的天狼星一样明亮。这以后逐渐变暗,到了 1870 年,肉眼也看不见了,以后比较稳定,大约是 8 等星。^① 这现象引起人们注意到变星,那是 18 世纪以来很少有人去研究的。

约翰·赫歇耳虽然没有作出可以和他父亲相比的基本的发现,可是他作了不少的观测去验证和完成他父亲的工作,从这一方面来看,我们已经肯定了他在双星和星云上的成就。他也完成了他父亲计数南半球天空上的星的工作。他探测了 2 300 个星区,总共数了 7 万颗星,这些计数的结果完全证实在北半球所作出的结论。他总结说:“银河平面之于恒星天文学,正如黄道之于行星天文学,它是恒星系的基本的、定标的平面。”以后的研究与发展加强了 this 结论的准确性(第六章 § 43)。

约翰·赫歇耳从好望角回去以后,放弃了天文观测,他尽力从事于他父亲和他所积累的观测资料的编辑与刊印工作。除了于 1847 年出版了他在好望角所作的观测报告之外,他还于 1864 年刊布了一个含有 5 079 个星云的星云表,他还完成了一个包含 1 万对双星的表,在他死后才刊印出来。

如本章所叙述过的,当行星天文学的研究已经登峰造极,好像要

^① 船底座 η 星的故事经本书作者写出,登载于太平洋天文学会版的 *Leaflet No. 281* (1952),直到它最近一次的增加亮度的时候为止(第七章 § 49)。

完成的时候,赫歇耳父子更开辟了一个广大的领域,远非小小的太阳系可比拟,但所表现的精密度却远不如天文学家对行星运动所习用的那样严密。威廉·赫歇耳,由于他对双星的发现和太阳的运动的发现,他的恒星统计学的创立和星云的计数等,开辟了恒星天文学的主要分支。当约翰·赫歇耳从好望角回来,放弃观测的时候,有几位天文学家差不多同时在这新领域里,得到一种决定性的胜利,这便是恒星距离的测量。

25. 贝塞尔(F. W. Bessel, 1784 ~ 1846)

测定恒星视差的第一位天文学家是德国的贝塞尔。因为特殊的才干,他在26岁的少年时期即升任为克尼格堡(Königsberg)天文台台长(21岁时他即使用自1607年以来的观测,重新计算了哈雷彗星的轨道),他在方位天文学的发展上作出了很大的贡献。

在他以前有几位天文学家对于星表的编制工作尽了很大的努力,例如前面说过的布拉德累、拉卡伊和拉朗德等人。可是这些星表仅载了观测的原始资料,没有将岁差、章动和光行差等加以校正,所以不能立刻使用,例如使用它来测定自行。所以这样大量积累的观测须得“归算”到某一“历元”,才能够使各时代所作的观测得以比较。

贝塞尔担任了这一工作,重订布拉德累所编的最古老又最精确的星表,他于1818年刊布了3 222颗星的结果,都归算到1760年的春分点。从此以后,贝塞尔重新而且扩大做这些观测,直接测定他那时代恒星的位置。这个伟大的工作使他勤劳从事了12年(1821 ~ 1833),在这期间他作了76 000多个精密位置的观测,编制了一本星表,载有63 000多颗星的坐标。这个工作以后更由他的助手和承继人阿格朗德尔加以扩充(§ 27)。

无疑因为他受了恒星精确位置的绝对测量的鼓励,星表编成以后不久,贝塞尔才着手来从事当时还没有解决的恒星视差的问题(图16),为了达到这个目的,他自然使用比绝对测量更精确的“较差”测量的方法,他将他所要研究的星和几颗附近的、当做标志点的星加以比较。他所用的仪器是巴伐利亚光学家夫琅和费[他对光学和天体物理学有很大的贡献(第五章 § 32)]所制造的量日仪(heliometer)。天文

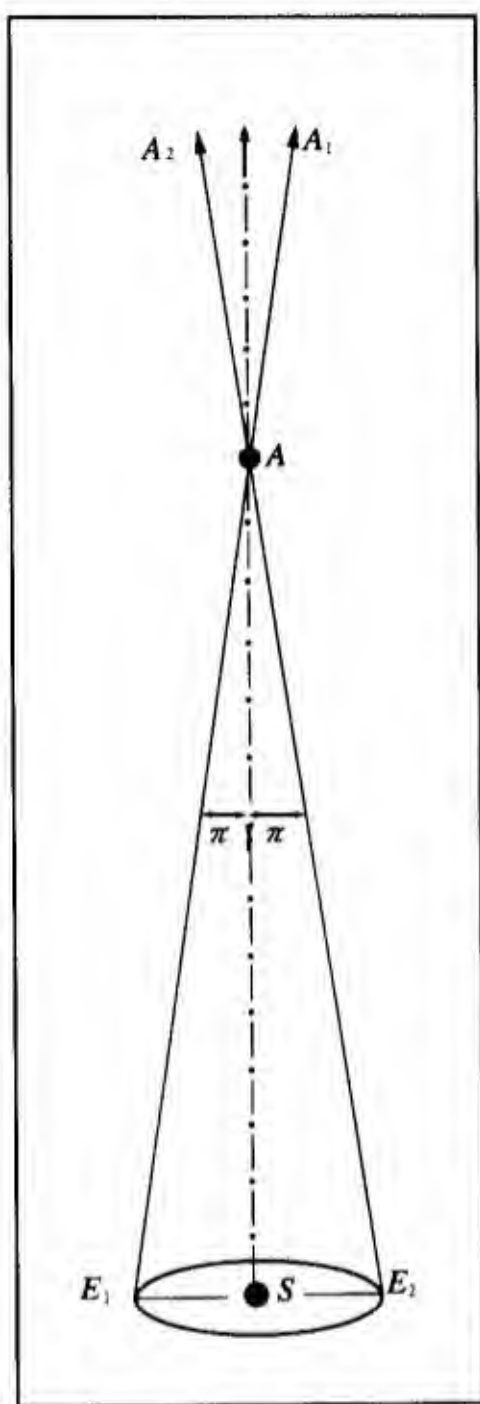


图 16 一颗近星的视差位移

地球在轨道上由 E_1 运动到 E_2 时,一颗近星 A 对于远的参照星所表现出的位移。这颗星的视方向从 E_1A_1 (当地球在 E_1 时)移动到 E_2A_2 (当地球在 E_2 时), π 角代表视差。

学家因讨论寻找恒星视差所以失败的理由,才发现要得到成功,所选择的恒星必须满足一些确定的条件:它必须很明亮而又必须有很大的自行,或者相距很远的物理双星,最好是同时满足这些条件的星。早在 1812 年,贝塞尔注意到天鹅座 61 号星满足最后这两个条件(它是相隔 $25''$ 的双星,具有每年 $5''.2$ 的那时被认为是最大的公共自行),因此他决定于 1837 年先研究这颗恒星。他在这项工作上得到卓越的成功,观测一年以后,到了 1838 年 12 月他已经能够宣布那颗星有一个可以用他的仪器测定的视差,数值是 $0''.31$,由 1840 年的观测再求得的数值是 $0''.35$,证实第一次结果的正确性^①。因此一颗恒星的实际距离(与地球最接近的一颗),第一次被人求出了。差不多在同时,另外两颗星的距离也被人求得了:一颗是半人马座 α 星的距离,由英国天文学家亨德森(Henderson)求得,另一颗是天琴座 α 星,其距离是被斯特鲁维 (§ 26)求得。

贝塞尔还有一个很卓越的贡献是我们必须提到的:他仅借引力作用所表现的效应预测“不见星”的存在。早在 1834 年,他所作的恒星位置的精密测量和他所整理的前人的观测,使他感到天狼星的自行上有一些不规则的情况(图 17); 1840 年他对于南河三(小犬座 α 星)也得到相同的结论,再经过高精密度的新的测量以后,他于 1844 年公布这些不规则的情况

必定是由不见的星陪伴着这些亮星在他们共同行程里所施的扰动作

^① 这结果被近代的观测证实,现今的数值是 0.30 。



昴星团(昴宿五)周围的星云气

用。他说道：“我确信南河三和天狼都属于双星系，是一颗可见的和一颗不见的星所组成的。我们没有理由假设天体都是一般亮的。我们看见许多星，但这并不能当做证据来断定没有看不见的星。”

贝塞尔这样推证不可见的星的存在，正如从天王星运动上的摄动，以推证海王星的存在一样。贝塞尔本人对天王星的问题本来很感兴趣，可惜他的死亡使他不能向前探讨，去发现海王星。他对恒星运动所受的摄动的原因虽然表示得很明白，可是很少得到当时人们的注意，新思想是很难得立刻使人们接受的。他死了以后，在1851年这问题才重新被德国天文学家比特斯(C. A. J. Peters, 1806 ~ 1882)加以研究，比特斯说明天狼星的视运动完全可从下面这个假说得到解释：天狼星有一个看不见的伴星，它们围绕公共的重心，在50年一周的轨道上运行。这轨道的根数经比特斯推算出来。这颗被人猜测的星后来真的被人看见了，发现人是美国光学家克拉克(Alvan Clark, 1832 ~ 1897)。他于1862年磨成一个在当时算是最大的18英寸口径的物镜，他在检验那物镜的时候，得到了这个发现。在这大望远镜里，光亮耀眼的天狼星旁边有一个微小的光点，被发现时恰在预测的位置上！这预言的完全证实使人们相信了贝塞尔的见解，结果产生出一种新天文

学,被人叫做是“不可见星的天文学”,在我们的时代很有发展。

德国天文学家奥魏尔斯(G. F. A. Auwers)被天狼伴星的发现所鼓舞,于 1862 年立即从事南河三(贝塞尔指出的第二颗不可见的星)的摄动的研究,刊布了造成摄动的不可见星的轨道根数。南河三的伴星也于 1892 年在预计的位置上由舍伯尔(Schaeberle)用里克天文台 90 厘米口径的(当时最大的)望远镜看到。这两个陪伴着天狼和南河三运行的暗星,在物理学领域,也引起人们很大的兴趣,我们以后还要谈到。

26. 斯特鲁维(W. Struve, 1794 ~ 1864)

威廉·斯特鲁维也是自幼就从事天文工作的。1815 年被任命为厄斯多尼亚的多尔帕特天文台的台长,那时他才 22 岁。那时多尔帕特天文台的设备很差,1824 年他才购置一具 25 厘米口径的经夫琅和费装配的望远镜。这是第一具配有赤道装置和转仪钟的望远镜,它能够自动地追随星在天空的运动。这座折射望远镜,不但因为经斯特鲁维使用作出很大的成绩而著名,而且还是以后的大折射镜的范型,经历 19 世纪,折射镜的口径不断地增大,1897 年制成的叶凯士天文台 40 英寸(1 米)口径的折射镜,是其中最大的一个。

斯特鲁维使用这个优良的仪器,对于孤星做了精密的测微量度。赫歇耳虽然发现很多的双星,可是他对次星的量度却很粗糙,不如说是一种估计,而不是测量。斯特鲁维将游丝测微计装在他的赤道仪上,可算是双星天文学的创始人。恒星研究的这一分支有基本的重要性,因为它可以供给恒星质量的数据。斯特鲁维很快便达到很高的精确度,直到我们这时代,使用新的技术,才超过了他。

斯特鲁维不但将精密的测量介入双星的研究,而且也发现很多的

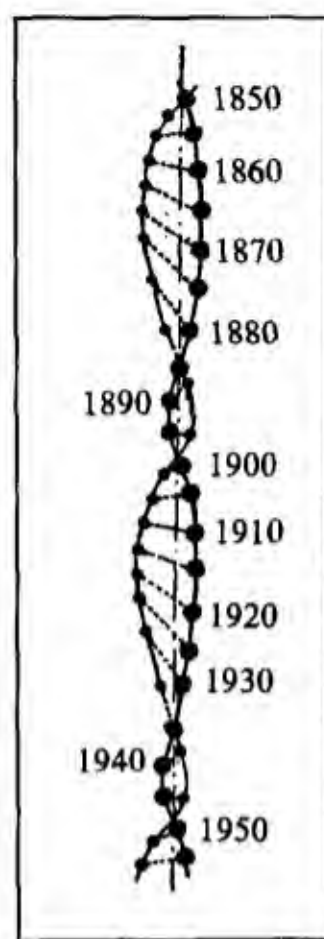


图 17 天狼星的波浪式的运动

这是它直线式的自行和轨道上的运动所合成的效果,这使贝塞尔预料天狼有一颗暗的伴星。



威尔逊山天文台 254 厘米口径的反射望远镜

新双星。在 1825 至 1827 年间,他从北极到南纬 15° 作了一番巡天的观测,他测量了 12 万颗星,并且发现了 2 200 颗新双星。他于是费了 10 年的工夫,将他最有兴趣的双星做了精密的测量,这工作的结果于

1837 年刊布成一大册,定名为《双星的测微计的测量》,载有为数 3 112 的双星或聚星,后人奉为典范的作品。此后半个多世纪之内,他的继起者在双星方面的努力,都是重测斯特鲁维的星,目的在于确定更多的双星的轨道。

斯特鲁维完成这本巨著以后,由于他的测量达到相当高的精确度,乃转去研究恒星距离的问题。他选定织女星(天琴座 α 星)作为研究的对象,虽然是合逻辑的,但却不是非常好的。1840 年他由 1834 至 1837 年间的观测所推出的视差是 $0''.26$,和现今公认的数值($0''.13$)相差很大。可是这样因视差产生的微小的位移,也可以测出,在当时看来,实在是一个很大的成就。1839 年威廉·斯特鲁维被任命为圣彼得堡附近普耳科沃天文台的台长,这所天文台为俄皇尼古拉一世所建,他想使它成为全世界设备最完善的天文机构。^①天文台的主要仪器是一具 15 英寸口径的望远镜,这在当时已经算是最大的仪器了,二十余年以后才有更大的制成。斯特鲁维在普耳科沃时大部分精力用来研究银河的结构,但是他的见解没有得到证实。他以为银河系在银道面上作无限的伸长,只是它遥远的区域被空间吸光作用所掩蔽而已。以后我们要谈到近代的研究证明他的第二个意见中有一部分的正确性,至于第一个意见是完全错谬的。

威廉·斯特鲁维晚年没有放弃他对双星的工作,他得到他的儿子奥托·斯特鲁维(Otto Struve, 1819 ~ 1905)的协助,继续研究,使用大折射镜测量,发现了 514 对新双星,这是用多尔帕特的仪器所不能发现的。1861 年他辞去台长的职务,由他的儿子奥托继任。奥托也是一位优秀的天文学家,虽然没有作出大的发现,可是作了许多重要的观测,特别是补充他父亲对双星的观测。

27. 阿格朗德尔(Argelander, 1799 ~ 1875)

阿格朗德尔也是早年即从事天文工作的,于 1820 年便做了贝塞尔的助手。1823 年他被聘为阿博(Abo)天文台的台长,1827 年又升任为芬兰新首都赫尔辛基天文台的台长。他以贝塞尔的机构为典范去

^① 普耳科沃总天文台在第二次世界大战德军围攻列宁格勒时被炸毁,战后经苏联政府将该台重新建起,恢复了旧有的结构,已于 1954 年正式开幕。

装配他的天文台,也按照贝塞尔的方法去测量恒星的方位。赫歇耳发现的太阳的移行,贝塞尔不相信,可是阿格朗德尔却不加以附和,他于1837年刊布一个重要的研究,所根据的材料不是十几个而是390个自行,这些自行是根据布拉德累(经贝塞尔归算后)的星表和他本人在芬兰所作的观测。他说明赫歇耳的结论完全被这样大量的资料证实,自从那时以后太阳的移行才得到人们的公认。还可提到的是在这以后不久(1840),奥托·斯特鲁维也得到相同的结论。

但是使阿格朗德尔的姓名在天文学家里永垂不朽的,当是他于1837年在升任为波恩天文台台长时开始做的工作。他在波恩完成一个伟大的星表,篇幅的巨大,内容的丰富,远远超过以前所刊印过的一切星表。在25年不停息的工作里,他使用10厘米口径的小型折射望远镜,观测了北半球所能观测得到的恒星,总共测定了32.4万多颗星的位置和大约的亮度。这项伟大的工作于1863年刊布,就是有名的《波恩巡天星表》(*Bonner Durchmusterung*,简称*B. D.*)。这星表和他根据星表所制的包含324 000颗星的星图,经历一个世纪,成为天文学家的无价之宝。国际天文协会最近还要求波恩天文台重印阿格朗德尔的星表和星图。就这一事实来看,可见这项著作对于现今天文学的各种研究还是必需的工具。^①

阿格朗德尔的星表是近代研究亮星分布的基础(*B. D.*内的星到11等为止),因为这星表被后继的人逐渐扩充到今天。顺费耳德(*Schönfeld*,1828~1891)在完成*B. D.*的工作上曾尽了很大的力,1875年他承继阿格朗德尔的工作,开始用一个大一点的望远镜将星表尽量向南天发展。在1875至1884年将近十年间,顺费耳德观测到13.3万颗星,作成《南半球巡天星表》(*Südliche Durchmusterung*,简称*S. D.*),刊布于1886年。更后他使用照相的方法经科尔多巴天文台,将星表扩充到南极,这星表叫做《科巴巡天星表》(*Cordoba Durchmusterung*),包含58万颗星,刊布于1914年。

1863年以后,几个德国天文台在德国天文学会的领导下从事*B. D.*星表的重测工作,重新测定的星表名叫《天文学会星表》(*Astronomische Gesellschaft Catalogue*,简称*A. G. C.*)。这个长期合作的工作

^① 关于*B. D.*星表的历史,可参考C. G. Burwell的文章,登载于太平洋天文学会的*Leaflet* No.271(1951)。

最近方才完成^①。

这一系列承继阿格朗德尔的工作而来的研究,说明 *B. D.* 星表对于恒星天文学具有基本的重要性。

还有天文学的另外一个分支,经阿格朗德尔提倡,以后继续发展,直到今天还很兴盛,这便是变星的观测。在那时,除特殊的情况之外,变星很少引起人们注意,而且只有少数变星被人认识。芫藻增二之后,在 17 世纪里又发现了大陵变星(英仙座 β 星)。18 世纪末,一位英国的天文爱好者库德里克(J. Goodricke, 1764 ~ 1786)再发现两颗变星(仙王座 δ 星与天琴座 β 星)。威廉·赫歇耳因继续不断地比较肉眼可见的星的视亮度,也曾怀疑有些星的光亮可能是有变化的。1844 年人们认识的变星虽然只有六颗,阿格朗德尔却提倡人民大众观测变星。他根据赫歇耳的原理,发明一个简易的方法,将变星的亮度和不变星的亮度加以比较,他本人也很勤勉地作这种观测。阿格朗德尔的“等级法”立刻经德、英两国的天文爱好者如黑斯(Heis)、波格森(Pogson)、施米特(Schmidt)诸人所采用,变星的研究开始迅速地发展。在一个世纪以后的今天,变星的研究已经成为物理天文学的一个重要分支(第六章 § 42,第七章 § 49)。

28. 罗斯爵士(Lord Rosse, 1800 ~ 1867)

威廉·赫歇耳曾将反射望远镜的口径做到他那时技术可能达到的极限。也许他已经超过了这个极限,因为他的 120 厘米口径的大望远镜对于他差不多没有什么用处。他和他的儿子的主要发现都是用 45 厘米口径的望远镜作出的。

19 世纪中一位英国的天文爱好者威廉·帕尔森(William Parsons, 即第三代罗斯伯爵)想制造一个比赫歇耳的仪器还大的望远镜。经过 10 年的劳动与实验,他终于制成有 180 厘米口径的铜制反光镜的望远镜,经历 75 年以上,还是世界上最大的(虽然不是最有用的)望远镜。1845 至 1850 年间罗斯用他的仪器发现一种极有意义的天体:旋涡状星云。在那时以前赫歇耳父子所发现的星云总是无定形的、球状的或

^① 另一个更新、更精密的重测星表,由耶鲁大学天文台于 1924 年开始,用照相法编制,现在与好望角及西德尼两个天文台合作,将这星表扩充到南半球(第七章 § 47)。



飞翔在太空中的哈勃空间望远镜

背景照片为天龙星座中的旋涡星系 NGC10214, 距离约 4.2 亿光年, 它的尾部长约 28 万光年。哈勃空间望远镜 2002 年 3 月 7 日拍摄, 曝光 8 小时。

椭圆的, 没有什么结构, 可是在大型望远镜里, 有些星云表现螺旋形的旋涡, 这种始料不及的形态使得天文学家感到惊奇。

几年后这一发现被英国另外一位天文爱好者拉塞耳 (W. Lassell, 1799 ~ 1880) 所证实, 他在马耳他建起一座 120 厘米口径的望远镜, 也发现一些新的星云。但是目视观测不能表现这些天体的物理性和普

遍性。这些性质须等到 19 世纪末照相技术和镀银反光镜发达以后,才被人们发现。

II. 太阳系

29. 月亮与行星的观测

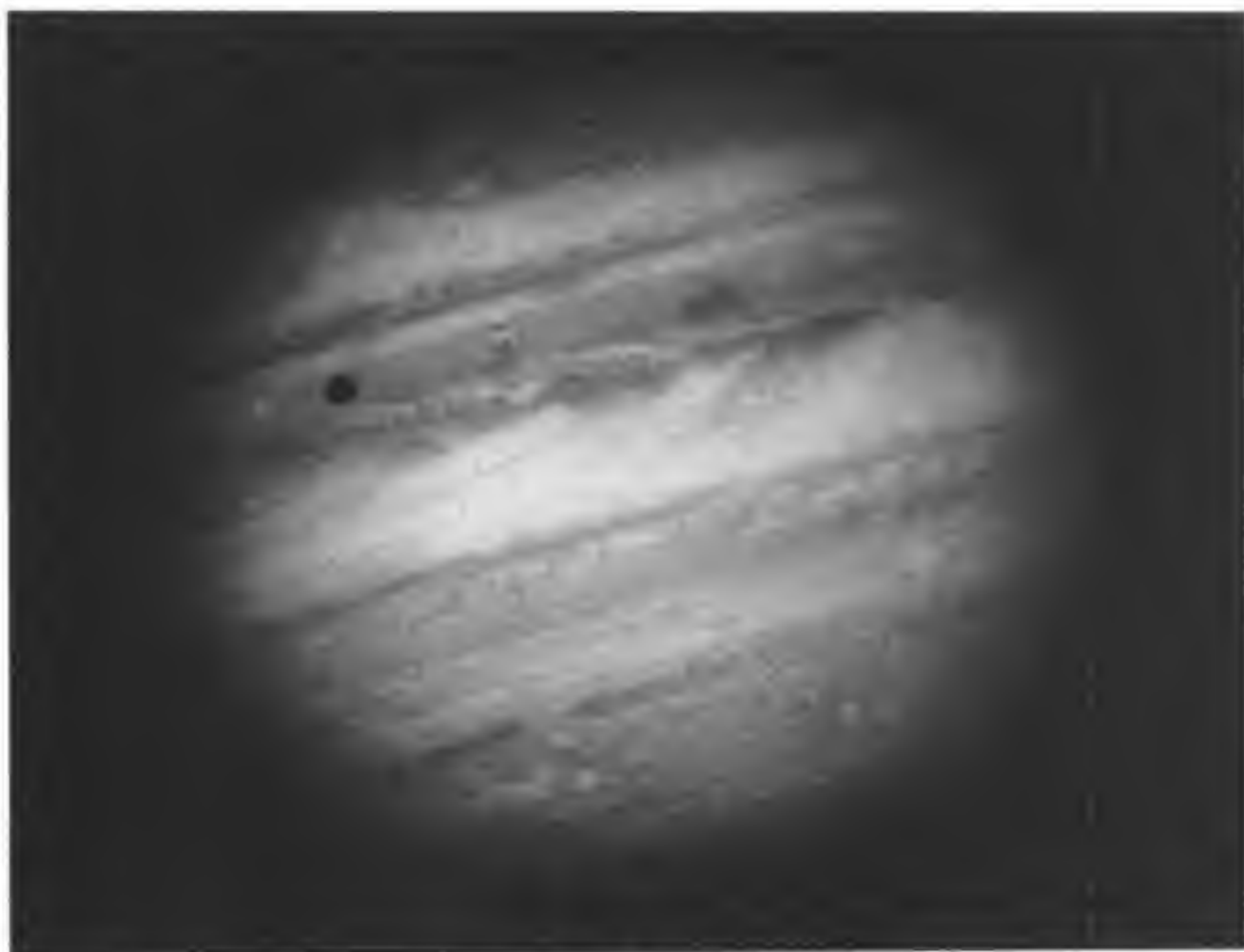
以上几章谈过,17 和 18 世纪的天文学家对月亮和行星表面的仔细观测很少感兴趣,他们所注意的是天体的运动,而不是天体的物理组织。主要是因为在 18 世纪中英国光学家多朗德(J. Dollond, 1706 ~ 1761)发明消色物镜以前,早期的仪器所造成的像太模糊,不能分辨行星表面上的细节。

可是卡西尼、惠更斯与胡克在 17 世纪,马拉迪(Maraldi)在 18 世纪初,都在火星和木星的表面上看出一些细节,因而使他们测定了这两颗行星的自转周期。但是要到 18 世纪末,反射望远镜和消色透镜为人使用之后,行星的物理情况才引起了天文学家的注意。

赫歇耳使用他的望远镜对火星作了第一次效果优良的观测,他认识了火星上的极斑和地球两极上的冰冠是类似的现象。这里可以连带提到他曾发现天王星和它的两颗卫星,以及土星的两颗卫星。

但是第一位对行星做系统观测的,当推和赫歇耳竞赛的德国天文爱好者施罗特尔(J. Schröter, 1745 ~ 1816)。他于 1785 年使用赫歇耳制造的小望远镜开始工作,努力描绘月亮和行星的表面图。不幸他所得的结论多经不起后来进一步的考验。他说看见了水星和金星上的山,并且以为这两颗行星的自转周期大约是 24 小时,但都没有得到证实;他想像火星上有大气,并且有云,事实上却很稀少。天文学并没有从他辛勤的工作里得到什么好处,可是须提说一下:贝塞尔开始他的事业以前,曾经做了施罗特尔几年的助手。施罗特尔的天文台于 1813 年被败退的法国军队焚毁,这真是一次毁坏文化的暴行。

施罗特尔以后,月亮和行星的观测被德国天文学家马德累尔(J. H. von Mädler, 1794 ~ 1874)更有效地进行着。他和一位有 4 英寸折



海王星近照

过去用大望远镜也只能把天王星和海王星看成亮星,但 1989 年“旅行者”2 号拍下了海王星这样清楚的照片。在它多风暴的大气中有一个地球大小的黑斑,还有快速奔驰的几缕白云。黑斑自转一周约 18 小时。

射镜的柏林银行家比尔(W. Beer, 1797 ~ 1850)合作,对月亮和火星的表面作了异常精密的观测,绘出第一张火星表面图,并且对火星的自转周期作了精密的测定。可是他只有对月亮的工作才引起当时人们的注意,他所绘制的巨幅月面图,比以前所刊布的完善得多。在 1837 年出版的一大册书(《月亮:一般的和比较的月面学》)中,他将月球世界的主要物理特性第一次表示出来,他说那是一个无水、无空气、无生命的世界。那时人们还相信施罗特尔所形容的月亮是可以居住的世界。马德累尔的意见真可算是一个伟大的进展。

马德累尔因他这本书受人尊重,1840 年继承斯特鲁维的遗缺,做了多尔帕特天文台的台长。他到职后放弃了行星的观测,只从事于星系构造的无结果的玄想。他的“中央太阳”的假说引起 19 世纪中叶人们很大的注意,可是却只有稍作提及的价值。

德国天文学家施米特(J. Schmidt, 1825 ~ 1884)承担起马德累尔所

放弃的工作,推进了对月亮的研究,对马德累尔月面无变化的理论产生了怀疑。施米特早年即对月面上的山发生兴趣,一生不断地观测着地球的卫星。他曾经在德国许多天文台工作,并且曾当阿格朗德尔的助手,1858 年被聘担任雅典的希腊国立天文台台长。他在那里完成由 25 幅图组成的大月面图[包括了洛尔曼(Lohrmann)早期的工作],刊印于 1878 年,记载了 32 856 个环形山。只有若干年以后的月亮照相图才比它更完全一些。



月面拼合照片

由上弦和下弦照片合成,能看清月面众多环形山及“海洋”分布的立体效果。

1866 年在这些研究进程中,施米特宣布了一个惊人的发现:有一座名叫林奈的小环形山忽然不见了,这座环形山在马德累尔的图上约有 9 千米长的直径,可是一下变为不及 1.6 千米的坑穴,周围环绕着

一圈白色的晕。林奈山的这种变化引起了长期的争论,根据近代的研究说明环形山(特别是白晕)由我们眼睛看出来的大小随阳光的射入角而有显著的变化,所以施米特所宣布的那种变化今天已经没有人相信了。可是他这一观测引导人们注意到光线的明暗对于月面现象所起的影响,是有功绩的。这一观测也引起了一系列的长期的研究,希望寻觅月面上的变化,可是我们也没有证据去否认这些研究有一天不会成功。

1862 和 1864 年当火星重回到适宜于观测的位置上的时候,^① 这重新引起观测者的注意。在这两次机会中作出很有效的观测的有荷兰人凯塞尔(F. Kaiser)和英国人多韦斯(W. R. Dawes, 1799 ~ 1868)与洛基尔(N. Lockyer, 1836 ~ 1920)。将这些观测和比尔与马德累尔所作过的观测加以比较,可以说明火星表面现象的恒定性,火星上大气经常的而不是一直的明晰性,以及和地球相似的季节性。根据这些观测,英国的天文爱好者普罗克托(R. A. Proctor, 1837 ~ 1888)于 1868 年绘制比马德累尔还要好的火星图,图上明亮微红的区域被人叫做陆地,暗蓝的区域被人叫做宽阔的海洋。这一切研究不久便被斯基帕雷利(Schiaparelli)的工作所超过,以后还要谈到(第五章 § 34)。

太阳系里火星轨道外边的空隙,在 19 世纪里出乎意料地被填充起来。19 世纪之初,一下连续发现了四颗小行星(第三章 § 19),以后 40 年内就没有什么发现,大家以为问题已经解决了。可是 1844 年一位不知名的德国天文爱好者亨克(K. L. Hencke, 1793 ~ 1866)忽然宣布他发现一颗新的小行星(义神星 Astraea), 1847 年又发现另外一颗(Hebe),引起天文学界很大的惊异。从那时以后,别的天文工作者也协同来做寻觅的工作,方法也愈来愈系统化,所以发现小行星的数目愈来愈多。1847 年英国人欣德(J. R. Hind, 1823 ~ 1895)发现两颗(Iris 与 Flora),小行星的数目达到 8 颗,1850 年达到 13 颗,1866 年 88 颗,1876 年 172 颗,1887 年 264 颗。自从采用照相的方法来寻觅这些小天体起,它们的数目增加得还要迅速(第六章 § 39)。

小行星在空间分布的情况,表现出大行星木星在它们的运动上产生了很大的影响。美国天文学家扣克伍德(D. Kirkwood, 1815 ~ 1895)

^① 因为火星的轨道有很大的偏心率,每隔两年的冲日时情况常不是一样的适宜,它回到和地球最接近的周期大约是 15 年。



火山活跃の木卫 I

“伽利略”探测器从近处拍得的木卫 I 照片。那是有大量的火山口,并且还有不少仍在喷发。

于 1877 年指出小行星区域里是有空隙的,在那些空隙处,周期是和木星的周期成简单的比例。这个结果表明小行星空隙区域和土星光环上的环缝有一种极相似的情况。

木星的直径比地球的直径大十几倍,它距离地球虽然很远,可是仍然表现可见的圆轮,有时角直径达 $48''$ 。木星表面的某些特征自 17 世纪以来便被观测者查出,例如平行于赤道的变化环带,一般公认是一种云彩的表现,至于这些云彩的物理性质却不大明白。但是到了 18 世纪末,特别是 19 世纪里,因拉普拉斯的太阳系起源论(第三章 § 18)的影响,天文学家以为庞大的木星的结构当在像地球或者火星那样冷凝的行星与炽热的太阳之间。那时人们以为木星还没有完全冷却,它的环带状的变化是它的内部固有的热源的表现,和太阳的辐射无关,人们甚至以为这样伟大的行星可能自身发出一点微弱的光辉。这些意见一直流行到现代,经过现今天体物理的研究,才完全被人放弃了

(第六章 § 39)。

另一方面,由于对木星的卫星的观测,人们很早就发现它们在自转上的特点。1797年赫歇耳已经注意到木卫在绕本星运行时,光亮发生系统的变化,他正确地断定这现象是由于木卫表面上具有斑痕。木卫在轨道运行上,正如月亮对于地球那样,常以相同的一面对本星。这结论以后得到很多的证实。而且自19世纪中叶以后,因仪器的改进,在木卫那样小的圆轮上面,人们亦能辨识出它们表面的特征。^①

土星是惟一具有光环的行星,这点特别引起观测者的注意,光环的形象已经在17世纪中叶,经惠更斯加以说明(第二章 § 12)。由于天体力学的进展,光环的存在与稳定引起一个特殊的问题。根据它在望远镜里显示出的,大家仍然把光环当做是一个扁平的固体,可是根据开普勒的定律,距离引力中心(这便是土星本体)愈远的物体转动的角速度该愈减少,光环如果是固体的,便难于理解。

1850年美国天文学家威廉·邦德(William C. Bond, 1789 ~ 1859)用新建立的哈佛大学天文台的38厘米口径望远镜,在已知的明亮光环内又发现一圈雾状微弱的光环,使得上面所说的问题迫切需要解决了。同年英国人多韦斯也独立地得到这个发现,引起天文学家对土星光环的注意。这光环应当是多重的,因为卡西尼在17世纪,恩克在19世纪发现光环之间还有空隙。所以乔治·邦德(George P. Bond, 1825 ~ 1865)继承他父亲做哈佛大学天文台台长的时候,于1851年宣称土星光环不应当被看做是一个连续的固体。

这问题于1856年经英国数学物理学家麦克斯韦(James Clerk Maxwell, 1831 ~ 1879)加以研究,他有名的论文刊布于1859年,他根据天体力学的定律证明土星光环不能是固体的,而是无数的小质点各自环绕土星,像无数的小卫星那样在运行。光环各部分亮度的差异可以解释为各区域里质点数目多寡不同的缘故。^②

同时有许多人讨论土星光环的半径或宽度可能有一种长期的变化,并且以为自卡西尼以来,已经有了显著的变化。可是以后的测量并没有证实这种假想的变化,以前人所认为的变化,当是由于以前图

① 最大的木卫(Ganymede 木卫Ⅲ)的角直径还小于2"。

② 法国数学家罗奇(E. Roche)于1849年已经得出这个结论,他证明光环和土星的距离,比一颗卫星能够稳定存在的最短距离(罗奇极限)还短。他的论文刊布在外省大学的不著名的刊物内,没有引起当时天文工作者的注意。

画的不精确而来。

最后,赫歇耳因观测土卫Ⅷ(Iapetus)的光亮大有变化,说明这颗卫星的自转和我们的月亮的情况一般,以后更得到观测的证实。

天王星发现的经过已经叙述在第三章 § 19 内,我们也说过赫歇耳于 1787 年发现天王星的两颗卫星(第四章 § 23),虽然他在 1797 年宣布又发现了四颗,但没有得到证实。1851 年拉塞耳更发现两颗天王星的卫星,几星期以后又发现一颗海王星的卫星。此后,要等到近几年才再有卫星的发现(第六章 § 39)。

30. 彗星与流星的研究

18 世纪末,哈雷对他的彗星于 1759 年回来的预言胜利地成功了以后,彗星的研究成了天文学的一个重要的部门,引起了天文工作者很多的活动。他们开始系统地去寻找彗星,而不是期待一颗明亮的彗星偶然出现。

法国天文学家查理·梅西耶(Charles Messier, 1730 ~ 1817)于 1759 年 1 月哈雷彗星回来的时候,独立地发现了它。他是系统地寻找彗星的第一个人,法王路易十四开玩笑地称呼他是“彗星的侦探”。他在长期工作里发现了 21 颗彗星,观测了 46 颗彗星。所有他的发现和观测都是在巴黎城中心一个高塔顶上,使用海军天文台的一具小望远镜得到的。

稍后嘉罗琳·赫歇耳发现了 8 颗新彗星。到了德国天文学家奥耳贝斯(Heinrich Olbers, 1758 ~ 1840)才首先将彗星的物理研究介绍入天文学的范围。1779 年他已发明了一个计算彗星轨道的方法,这在他以前须经过极端繁复的计算。当他成名为一个彗星专家以后,他的计算方法才于 1797 年被刊布出来。他的观测开始于 1781 年,是使用装在他家屋顶上 4 英寸口径的小望远镜所进行的。他对最初几颗小行星的发现所作的贡献,前面已经说过(第三章 § 19),但是他的主要兴趣在彗星,他仔细地研究了许多颗彗星。当 1811 年的大彗星出现以后,他首先创立彗尾的科学理论。他说彗尾是微小质点所组成的,被一种带有电性的“驱力”把它们抛到和太阳相反的方向去。这是在开普勒的意见(第二章 § 10)上加以真正的改进。虽然这种驱力的性质与其作用的方式他还很不明白,如果就当时的物理知识的程度而论,这是



1997 年的海尔波普彗星(背景是当时的北京天文台)

不足为奇的。1815 年他发现一颗长周期彗星(周期 72 年),与哈雷彗星同属一族,现今还叫做奥耳贝斯彗星。该彗星 1887 年再度出现,据预测它将于 1959 年再一次回来。

奥耳贝斯发现第二颗长周期彗星以后不久,另外一位德国天文学家恩克(J. F. Encke, 1791 ~ 1865)对彗星天文学作出了一个重要的贡

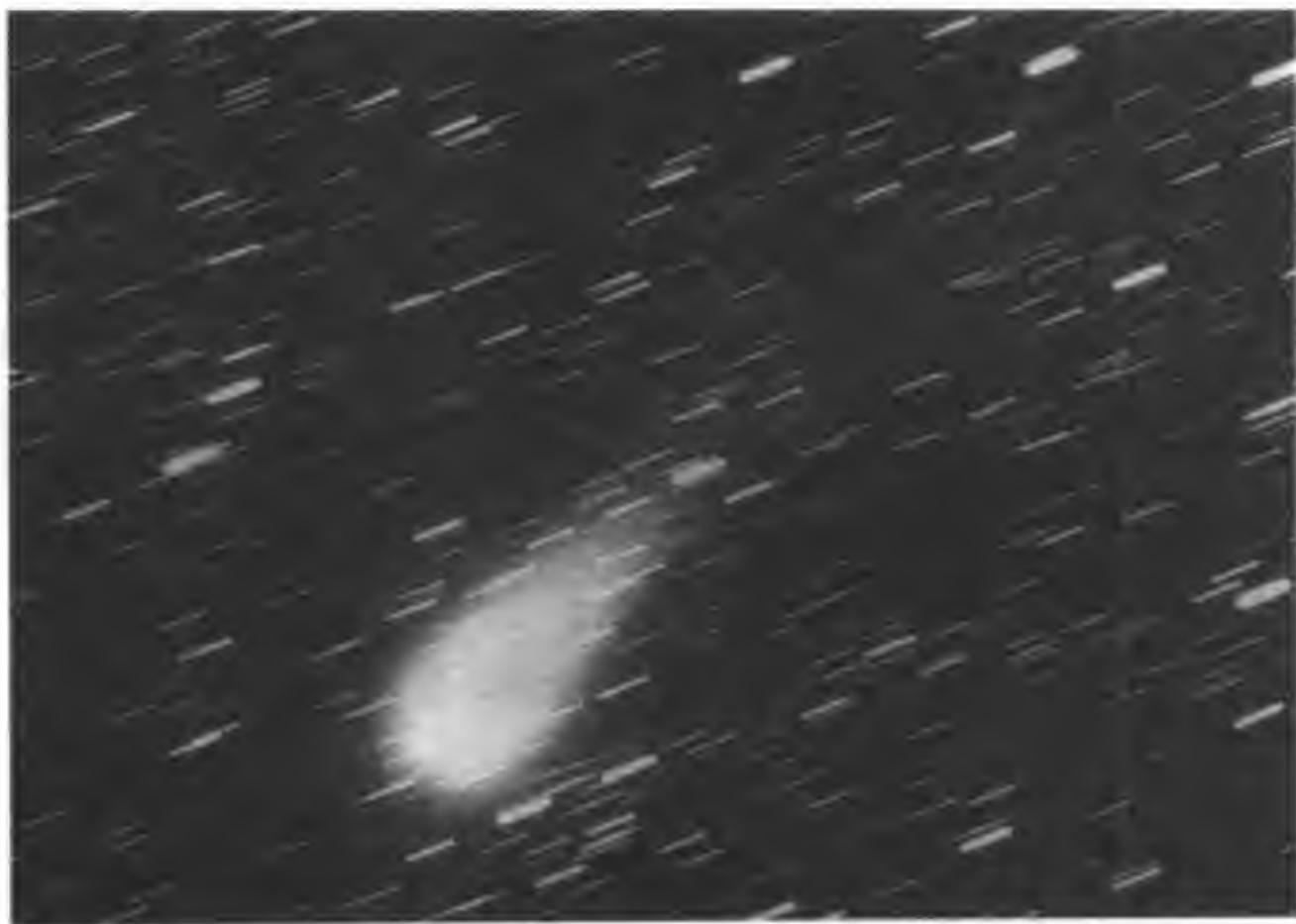
献,他发现一颗短周期彗星,那时他是哥廷根天文台的助理员。1818 年一颗暗彗星为法国天文学家庞斯(J. L. Pons, 1761 ~ 1831)在马赛所发现。庞斯是天文台的工友出身,后成为一位有名的彗星发现人,总共发现 36 颗彗星。恩克计算了这颗暗彗星的轨道,惊异地查出它的周期很短(只有三年半),他并且把这颗彗星和以前默香(Méchain)于 1786 年,嘉罗琳·赫歇耳于 1792 年,庞斯本人于 1805 年所观测过的三颗彗星证明是相同的一颗,从而说明他的结论是正确的。于是恩克预测这颗彗星将于 1822 年回来,1822 年该彗星果然出现,证实了预测的正确性。这是彗星按预期回来的第二个例子,引起了人们的称赞,而且这更说明彗星中有短周期的一个新族。

自从那时以后,恩克彗星每次回来的时候都被人看见,最近一次经人观测的过近日点(第 44 次),发生于 1954 年。

人们从恩克彗星获得不少关于这类天体的知识,例如 1828 年的观测,证明了人们以前猜测的一个事实:彗星接近太阳的时候,彗头逐渐变小。这个特性后来更由理论加以说明。恩克彗星的继续多次的回来,到了 19 世纪引起一个长久争辩的问题:因为在每次回来的时候它的运动有加速的现象,彗星是否在行星际空间里丢失物质?这一现象在现今这一世纪仍然存在,到近几年才得到了解释(第七章 § 48)。

恩克彗星发现不久,更有另外一颗短周期彗星出现,使我们对彗星的了解得到很大的进展。1826 年奥地利人比厄拉(W. Biela, 1782 ~ 1856)发现一颗彗星[同时也经法国人冈巴尔(Gambart)独立发现],他并且证明这是和 1772、1805 年所观测过的两颗彗星相同的一颗,周期比六年稍长一点。1832 年比厄拉彗星被人观测到,但在 1838 年失了踪影。1845 年再一次回来的时候,起初出现时它具有弥漫星云气的正常情况,但是过了一月以后,天文工作者惊异地观察到它分裂为两体,在空间一同运行!这个现象在观测期间仍然存在,只是两体逐渐离开。1852 年它又一次回来的时候,这两体离得更开,但是从那时以后每次回来时人们都找不着它,虽然比厄拉彗星的轨道已经很明确,而且有许多天文工作者在寻找它。由此可见彗星可能在运行里被人看见了它的崩裂和失踪。最后,我们还要谈到由崩裂而来的另外一个效应(第五章 § 35),这更增进了我们对彗星的知识。

1811 年的彗星出现以后,在 19 世纪里,自 1835 年哈雷彗星回来,人们又观测了许多大彗星。1843 年出现一颗异常明亮的彗星,白天里



贝提耶(Peltier)彗星(1936II)

1936年7月25~26日自23时32分至0时34分。有一条细长的直线光从彗头出来,彗头大而弥散,略偏向中心的右方。

也可以看见,尾部长达2.88万千米,是以前所未曾看到过的!它的头部距离太阳表面近达4.8万千米,只用两小时便扫过去了。

根据这些彗星过近日点所作的观测表明这些天体极度稀薄与微弱。人们一向恐惧彗星和地球碰撞会酿出不测的灾祸,即使在18世纪末,科学家如布丰(Buffon)与拉普拉斯也相信这是可能的事情,可是这一研究说明这种恐惧是一种陈腐的迷信。18世纪中叶经人说明彗星的动力作用实在很微小,所以法国物理学家巴比内(Babinet)说:“彗星是可以看见的虚空。”

19世纪之初,人们对黑夜空中忽然出现掠天扫过转眼消逝的流星的知识颇有进步。直到18世纪末,人们对这种天体还有各种怪诞的看法,一般人以为流星是地球吐出的气息在大气中忽然间化为火焰。科学家根本不同意一般人所认为的是“从天空落下来的石头”那种意见。经过人们觅得陨石的几次真实情况,例如1803年在法国罗曼蒂省小鹰村附近所拾得的陨石,这现象的真实性才被人们认识。但是经过很久,流星的来源仍然是很神秘的。早在1794年德国人克拉德尼

(Chladni, 1756 ~ 1827) 已经说过流星的来源在天空, 它们沿着轨道接近地球, 受大气的摩擦发热以至白炽。可是到了 1802 年拉普拉斯还说: 流星是从月球火山射出的石头。总之这是不值得科学家注意的!

可是流星总会引起天文学家的注意, 例如 1833 年 11 月 12 日至 13 夜里在美洲出现一次异常惊人的“流星雨”。天文学家从流星现象发现几个事实: 他们首先注意到所有这些流星都从天球上相同的一点射出, 而且这个“辐射点”因周日运动在天球上随着其他天体而移动, 可是对于恒星是固定的。这一事实进一步证明流星的来源是宇宙的而不是地球的, 在空间循平行轨道运动, 我们看见它们从一点辐射出来, 这现象从透视的效果容易得到解释。流星雨的现象也经人查出是一个具有周期性的现象, 因为同样的流星雨于 1799 年 11 月 12 日经德国博物学者旅行家洪保德(F. von Humboldt, 1769 ~ 1859) 观察到。以后在每年相同的日子, 有许多次(特别是 1834 与 1837 年) 出现这个现象, 只是没有上面那样规模大罢了。

此后不久, 比利时天文学家凯特勒(J. Quételet, 1796 ~ 1874) 也证明每年 8 月 10 日有一群流星出现, 一般人把这些流星叫做“圣洛郎的眼泪”, 因为辐射点在英仙座内的原故, 这些流星又叫做“英仙座流星群”。由这些观测说明有一群陨石式的物质在空间围绕着太阳, 按一定的轨道运行。

所以到了 19 世纪中叶, 流星的性质和流星在太阳系里的重要性, 大家才看清楚, 天文学的一个分科, 名叫流星天文学的, 引起许多观测者的注意。

但是彗星与流星的物理性质, 及它们之间的关系一类的知识的进步, 要到稍后一些时间, 才表现出来(第五章 § 35)。

31. 太阳的研究

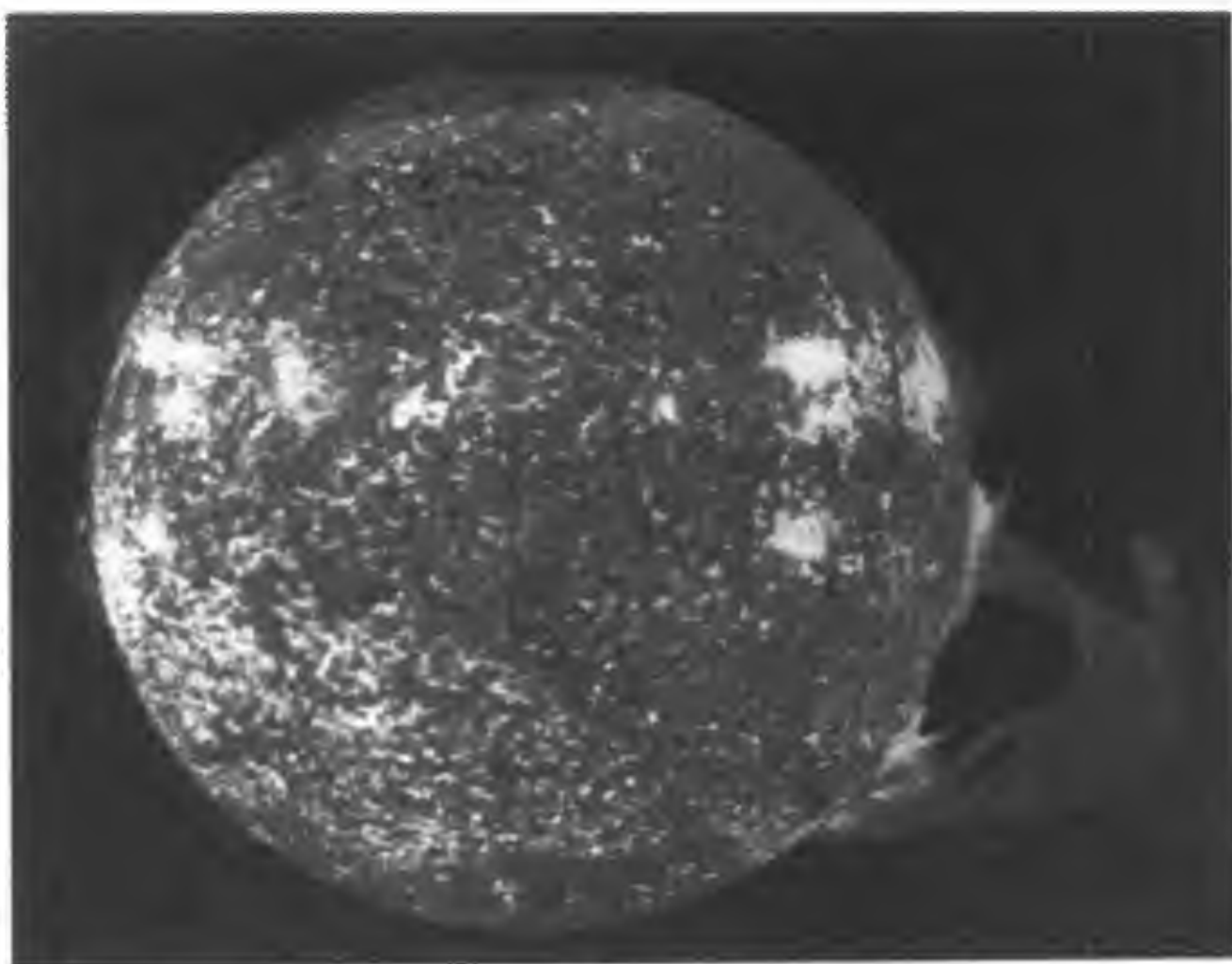
自从伽利略发现太阳黑子直到 18 世纪之末, 关于太阳的知识没有什么进步, 那时天文学家所采取的一些理论, 现在看来很是离奇。

那时人们以为太阳也像行星一样, 表面结构的物理性质是岩石的, 黑子是从白炽的海洋面浮出的火山。但是 1774 年英国天文学家威尔逊(A. Wilson, 1714 ~ 1786) 从一个大黑子在日轮上经过时的现象, 断定黑子在日面上不是凸出, 而是凹陷的现象。



流星暴雨

1883年11月13日在美国波士顿上空出现的狮子座流星暴雨，盛况惊人。
(木板画)



巨大的日珥

日珥是太阳的高热气体喷泉,这是 1973 年 12 月 19 日在天空实验室上拍摄到的,高约 42 万千米。

根据这些观测,威廉·赫歇耳提出一种太阳的“理论”,因为他的权威地位,直到 19 世纪的中叶,还为一般人所承认。他说:太阳内部的球体像大行星一样是寒冷的固体。他还毫不迟疑地以为太阳面上有植物,甚至还有居民呢!赫歇耳以为发光的表面是一层厚的大气,上面盖有耀眼的云彩,施罗特尔把这层气叫做“光球”,这一名词至今还在使用。那时的人已经观察到光球面的颗粒现象,所以人们才想到光球是云彩的结构,所以黑子是孔隙,我们透过这些孔隙才看见下面的暗黑区域。如果想到那时还没有热学,我们对这些奇特的见解便不会感到奇怪,须等到 19 世纪前半期,经过傅里叶、卡诺和默耶尔诸人的研究,热学发展了以后,大家才认识到那时流行的太阳理论是很荒谬的(第五章 § 32, § 33)。

可是人们一旦承认太阳发光的外壳是气体的结构,即使别的见解是错谬的,也还可以作出某些进展。例如约翰·赫歇耳在好望角进行

观测期间,已经断定黑子的成因可能是像地球大气里旋风般的骚动,这一种看法在以后知识的进展里还或多或少地保留下来(第六章§38)。

大约就在同一个时期,一位德国药剂师施瓦布(H. S. Schwabe, 1789~1875)因爱好天文学,常在业余闲暇时观察太阳,他对太阳研究作出一个重要的发现。他用一具小型望远镜,从1826年开始,每天计数黑子的数目,希望有一天发现水星轨道内的一颗行星经过日面。他便这样以无比的忍耐和勤勉,连续43年每日不断地计数黑子。他没有发现水星轨道内的行星,可是他所发现的却是一个更重要的结果。他作了17年的观测以后,于1843年查出太阳面上可见的黑子的数目在年与年之间表现一种系统的、周期性的变化,并且断定这周期是10或11年。他所宣布的结果并没有引起当时人们的注意,可是到了1851年他所积累的观测已经超过两个周期,经洪保德刊布以后,才使人们对这个发现不再怀疑,因此天文工作者才在事实面前屈服了。

同年,在太阳的研究方面,又有人作出性质绝不相同的另外一类发现。经洪保德的建议,有几个观测站每日记录地磁的变化(使用高斯的磁力计),经过15年之久,特别记录磁偏角(即磁力子午圈和地理子午圈之间的角度)。许久以来人们早已知道在一天中磁偏角表现出一种周期性的变化。1851年在慕尼黑工作的苏格兰天文学家拉芒特(J. Lamont, 1805~1879)惊异地发现磁力的每日变幅也随年度而有一种周期性的变化,并且这周期大约是10年。同年萨比恩爵士(Sir Edward Sabine, 1785~1883)发现地磁扰乱(学名“磁暴”,即磁针对于通常的位置表现很大的偏离)也表现出一种周期性的变化,周期大约是10年,在某些年代里达到最高的频率与最大的变幅,而在周期中间的年代里频率低,而变幅亦小。

因为施瓦布的结果已经公布,萨比恩便能够表明一桩事实:代表地磁变化和日面活动的两根曲线是完全平行的,两个效应的极大与极小是完全相对应的。

这个让人意料不到的关系,于1852年公布以后,立刻得到许多天文工作者的证实,表明黑子对地磁有一种奇妙的影响,这是经人查出的第一个日地关系,以后又有连续地发现,今天已形成天文学的一个新的分科。可是在那时,这些关系的性质与原因却完全是一个谜。法国天文学家德朗布尔于19世纪之初曾说“黑子只足以引起人们的好

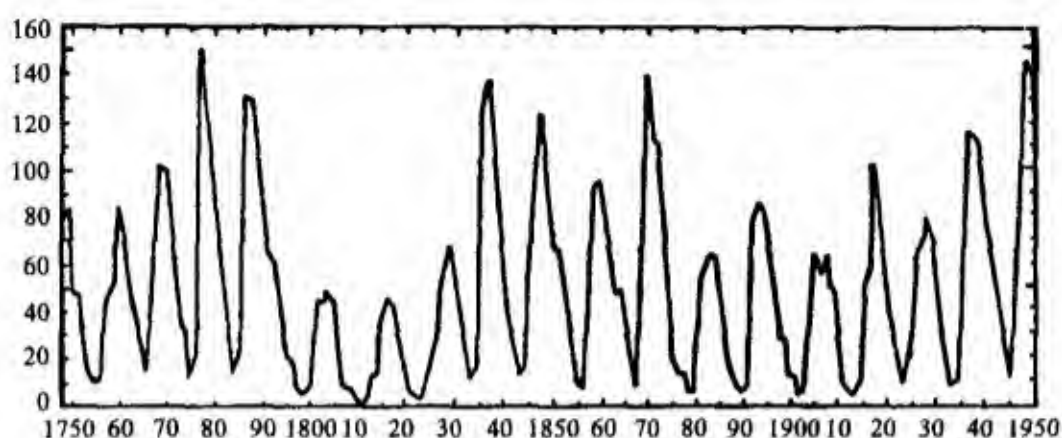


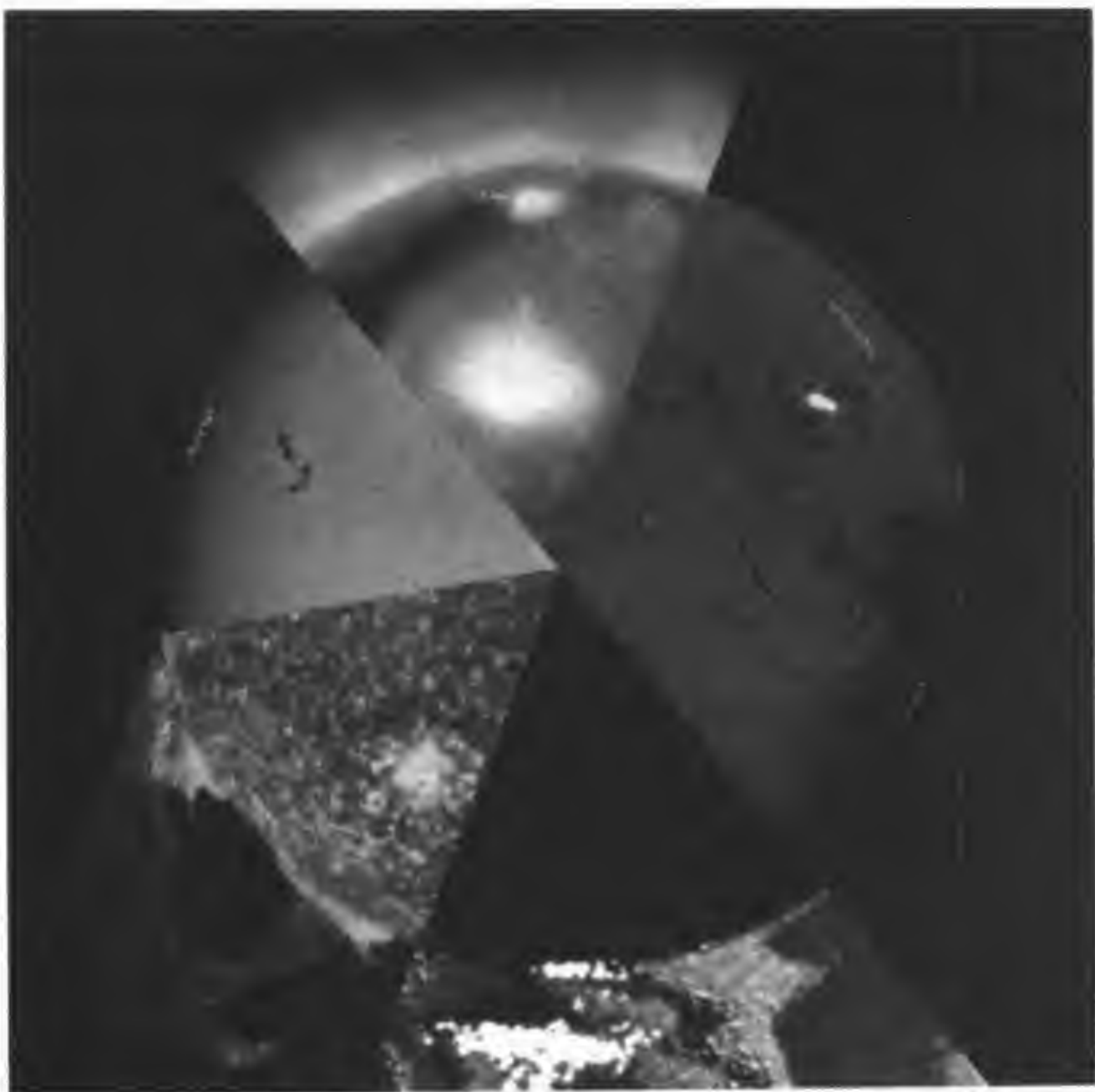
图 18 1750 ~ 1950 年太阳黑子活动的曲线
根据沮利克天文台的黑子统计记录(沃耳夫相对数)

奇,但没有真实的用处”。上面所说的这些,至少可以说明这意见是错谬的,而且使人们认识到对黑子作仔细的和系统的研究是重要的。

各国的天文学家立刻注意到这个问题。例如瑞士天文学家沃耳夫(R. Wolf, 1816 ~ 1893)考查天文文献中早期的一些观测,追溯到伽利略的观测,列出日面活动的极大与极小的表。可是 1750 年以前的观测很不可靠,只是那时期以后的变化曲线才很显明(图 18)。沃耳夫也提出以统计方法研究黑子的原则,其后稍加修改,经人广泛使用,作为日面活动的一种指数(叫做“沃耳夫数字”),每年由沮利克天文台经手刊布。

沃耳夫将地面上的各种现象拿来和日面活动的曲线作比较,希望找出新的关系。对于局部气象变化,他只得到可疑的结果,经过一个世纪的研究,太阳对气候的影响,仍然很不清楚,人们得到各式各样的互相矛盾的结果。只是当沃耳夫讨论到沮利克城历史上所记载的极光现象的时候,他才得到很大的成功,而且那时人们已经知道极光的出现和磁针剧烈的扰动,是同时发生的,例如法国天文学家阿腊果在 19 世纪前 25 年内已经说过这两个现象的关联。

由于施瓦布的发现的影响,英国天文爱好者卡伦顿(R. C. Carrington, 1826 ~ 1875)于 1853 年开始对太阳黑子作系统的观测,1859 年得出一个重要的发现。卡伦顿所研究的不只是黑子的数目,而是黑子在日轮上的位置,因为他想测定那时还不明确的太阳的自转周期以及黑子在光球上的移动。他的系统的观测表明太阳自转周期的不确定,是因为这周期没有一个确定的数值,只是随用以决定周期的黑子出现在不同的纬度而有变化。换句话说,卡伦顿查出太阳不是固体般在自转



五颜六色的太阳

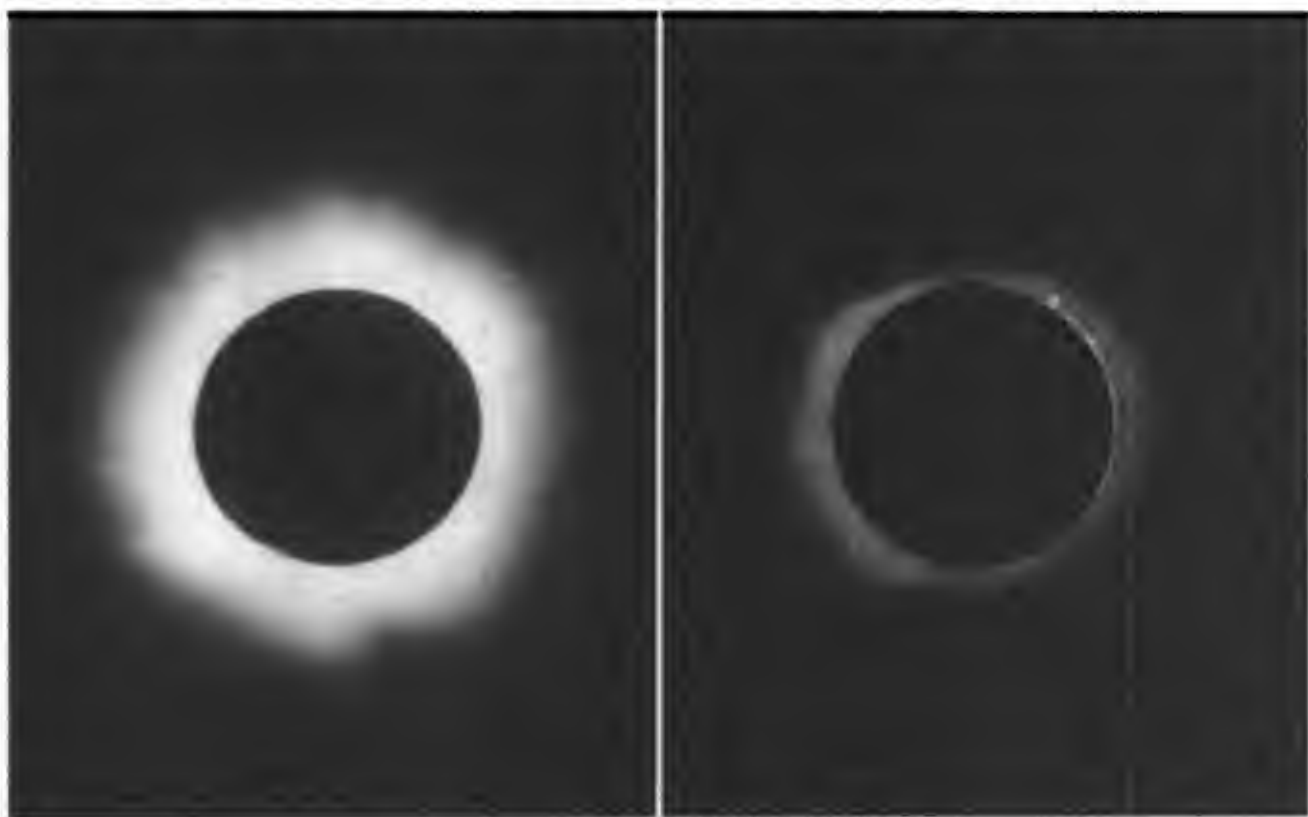
同是一个太阳,用不同的仪器通过不同的波段就可以看到几个形色差异的太阳:从有黑子的白光照片顺时针方向依次为 X 射线照片、磁像仪照片、 $H\alpha$ 照片、日冕仪照片、紫外光照片。

(至少在外面可见的那些部分),而是像流体那样在作“较差式”的自转。卡伦顿也注意到黑子的平均纬度在每一周期里有系统的变化:周期开始时黑子出现的平均纬度大约是 35° ,数目很少,逐渐趋向赤道,最后到周期快终结的时候,黑子很接近赤道,纬度大约在 5° 处。相似的结果亦为德国天文爱好者斯波勒尔(G. Spörer, 1822 ~ 1895)所发现。现今常以卡伦顿的姓氏加在太阳自转的定律上,而以斯波勒尔的姓氏加在黑子纬度变化的定律上。

这一切结果都说明以前以太阳为暗黑固体的理论是不可靠的,自

1859 至 1861 年间经德国物理学家克希霍夫有名的研究,建立了新的天体物理学,说明太阳的气体性质和化学组成以后(第五章 § 32),以前的太阳理论才完全被推翻了。

当这些研究为近代的太阳理论预备基础的时候,还有别的研究从另外一些方面促进对太阳认识的发展。我们须特别提说一下在日全食时所作的观测。至 18 世纪末,月轮经过日面的现象,天文学家只从天体力学和方位天文学的角度去观测它,他们只测定日、月两轮接触的时刻,及校核日月两球的运行表,并用来改进月亮的星历表。



左图:1893 年 4 月 16 日的日冕

右图:1900 年 5 月 28 日的日食

这两张图片上面同时有色球、日珥与日冕。

日全食的时候,观测者不能不注意到黑暗月轮的周围有明亮的环和赤色的焰,但是很少人想到这些光亮的来源。有些人以为它们是月亮的大气,有些人以为是太阳的大气,更有些人以为是特殊的光学现象。直到 1842 年欧洲可见的那一次日食,天文学家的注意力才转移到这些奇怪的光辉上去,并且企图加以解释。这一次日食经人确认在被食的日轮周围悬有一种火焰式的红光(日珥)和向各方射出相当高的白晕(日冕)。这一次和以后在 1851 年的日全食的观测(第一次拍得内日冕的照片),说明这些发光的附属物实在是属于太阳的,作为太

阳的高层大气,在全食时日轮在它前面经过,好像改变它的位置,这足以说明这些光辉是不属于月球的。直到 1860 年天文学家系统地使用照相技术研究日全食的时候,得出无可辩驳的证据,大家才一致公认了这些光辉是太阳的大气(第五章 § 33)。

这样人们才为太阳结构的革命性的见解铺平了道路,而且开辟了天文学的一个新的分科:太阳物理学。它的重要性自从那时以至今天,仍在不断增长之中。



第五章

19 世纪后半期近代天文学的兴起和天体物理学的诞生

32. 天体物理学的先驱

天体物理学,在 50 年前常被人叫做“新天文学”,诞生于人们使用三种物理的方法(分光学、光度学与照相术)来研究恒星。主要由于应用了这些技术,天体的结构才可能成为科学研究的对象,以前这只是一
一种幻想罢了。

在过去的一个世纪里,天体物理学发展范围之广,可从下面引证的一些话里得到反映。1825 年法国哲学家孔德(Auguste Comte, 1798 ~ 1857)在他的《实证哲学讲义》里说:“恒星的化学组成是人类绝不能得到的知识。”1840 年法国天文学家阿腊果仍然相信太阳上面是可以住人的。1860 年法国天文普及者弗拉马利翁(Camille Flammarion, 1842 ~ 1925)在他的《众生世界》书中讨论别的行星上的气候情况,曾经说:“要解决行星世界上热度的问题,我们所要知道的数据是我们永远得不到的。”还不到一个世纪,这一切错谬的见解一扫而空,所谓不能解决的问题解决了,不可知的数据经人求得了,这一切惊人的进步不能不归功于天体物理学的伟大成就。

(A)分光学

天文分光学的创始人当推德国光学家夫琅和费(Josef Fraunhofer, 1787 ~ 1826),他在这方面成就之大,以及对消色望远镜的改进,对天文学有很大的贡献。虽然远在 1666 年牛顿已经使白光透过棱镜分解成为一条“光谱”,表现虹霓的颜色,虽然 1802 年英国物理学家沃拉斯顿

(W. H. Wollaston, 1766 ~ 1828)由光线穿过光缝以后再通过棱镜,观察到光谱有黑线出现,但是只有夫琅和费才首先就日光与星光对这些黑线作了系统的研究。

夫琅和费将棱镜和经纬仪上的小型望远镜连在一起,去观察远处的狭缝。他制成了第一具分光镜,在太阳的光谱里发现:“不可数计的、强弱不一的垂直谱线,有些谱线差不多是完全黑暗的。”他于1814年发现这个现象,于1817年公布,说:“我用许多实验和各种不同的方法,证明这些谱线和谱带实在是日光固有的性质,绝不是从衍射、光幻视等原因而来。”他刊布的图画里已经有黑线几百条之多。其中主要的谱线,他用A、B、C、D等大写字母标志,沿用至今日,太阳光谱中的黑线仍叫做“夫琅和费谱线”。

夫琅和费把他的分光镜转向月亮、金星和火星,在这些天体的光谱里也发现有太阳光谱里的那些黑线,而且也在相同的位置上,他说:“月光给我一个光谱,在它明亮的颜色里表现固定的黑线,正和太阳光谱里情形一样。”

他于是将一个比较大型的望远镜对准明亮的恒星,他发现有些恒星表现出和太阳光谱相似的谱线,有些恒星表现出相异的谱线。他特别感到在差不多所有研究过的光谱里,在橙色区域里都有一条强的谱线,他用D来代表它。这条D谱线甚至存在于火炬的光谱里,不过这一次是连续背景上的一条明线:“灯光透过棱镜所成的光谱并不表现固定的黑线,如太阳光谱的情形,可是在黑线的位置上有一条橙色的明线,在光谱的背景上特别突出,这是一对双重谱线,恰与太阳光谱里的双重D谱线相合。”

这条橙色谱线,现在知道是由钠元素而来,在18世纪里已经被苏格兰物理学家梅尔维尔(T. Melvill, 1726 ~ 1753)在各种火焰的光谱里观测过,因为这谱线到处出现,使得物理学家稽迟多年未能认识光谱的基本定律。

夫琅和费也观察到日光与星光被棱镜折射,对于一定的颜色是相同的,这说明从各种物体所发的光是同类的,同时也证明大气折射对于同高度的星是相同的^①,这是那时天文学家还不大明白的事。

这些谱线的成因当时完全不能说明。19世纪中叶以前,物理学家

^① 事实上我们还须加上对于“同颜色的星”一句话。



恒星的光谱

光谱是无字天书,通过恒星光谱可以了解到恒星的物理和化学情况。应用物端棱镜摄谱仪可以同时拍摄一片星区中许多恒星光谱,可以进行比较研究。这是金牛座毕星团的恒星光谱。

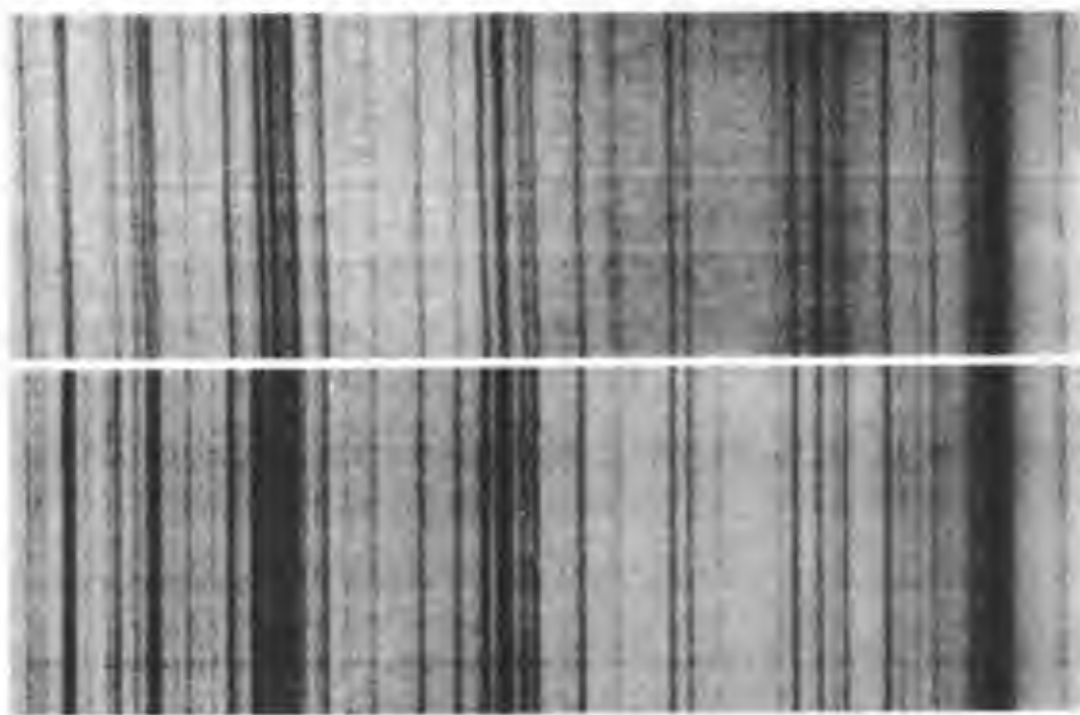
既无法理解这些谱线,而且在这方面所做的实验也有很多矛盾。直到 1859 年德国物理学家克希霍夫和化学家本生公布了他们具有历史性的研究结果,确定地建立了分光学的基本定律以后,这个疑谜才被人窥破。

但是在继续叙述下去以前,我们须先谈到天文光度学和照相术的先驱的工作。

(B)光度学

17 世纪里惠更斯已经试将一根蜡烛的光和太阳的光以及和天狼星的光来作比较(第二章 § 12),但是光度学的真正创始人当推法国人

布盖(P. Bouguer, 1698 ~ 1758), 他在《光的等级》一书里提出了光度学的基本原则。同时瑞典物理学家塞耳苏斯(A. Celsius, 1701 ~ 1744)将几颗星的比较亮度作了粗糙的测量。可是要等到 19 世纪中叶, 才有第一组测量。至今还被认为是有价值的测量, 由约翰·赫歇耳在好望角用他的一种“量星计”(astrometer)进行(第四章 § 24)。同时在慕尼黑光学家斯太因哈耳(C. A. Steinheil)用一具较好的恒星光度计, 作出了一些观测。但是近代光度计是于 1859 年首先由德国天文学家泽内尔(F. Zöllner, 1834 ~ 1882)发明的, 以后稍加改进, 使用至今。



天顶附近的太阳光谱和地平附近光谱的比较, 后一情况下有些谱线变强, 表示它们是由地球的大气组成的大气谱线。

与这些光度计同时发展的, 还有一种极简单的比较星光的技术, 经威廉·赫歇耳和阿格朗德尔提倡使用, 在前一世纪以最小的代价得到变星观测的大量数据。当科学的光度测量学将恒星光度建立在一个确定的尺度之上, 用来比较变星的时候, 这技术的价值才显现出来。德国生理学家费希内尔(G. T. Fechner, 1807 ~ 1887)从约翰·赫歇耳和斯太因哈耳的测量, 推出连续两星等之星的光度, 差不多是一个不变的比例, 比值和 2.5 很接近。换句话说, 当星的光度成一几何级数的时候, 星等的尺度成一算术级数。费希内尔从这一点推出他有名的生理定律, 这定律说“感觉度按刺激度的对数变化”。现在我们知道这定律只在有限范围内, 大约有效。虽是这样, 这定律的好处是给星等尺度以一种物理意义, 那时以前所谓星等尺度纯粹是一种主观的看法。

1857 年英国人波格森(N. Pogson, 1829 ~ 1891)在这些研究的基础上,建立了光度星等间的基本关系式,以后经人采用为星等尺度的定义。这样,恒星光度学就建立在稳固的基础上面,发展直至达到完善的境界。

(C)照相术

1839 年阿腊果将尼普斯(J. N. Niepce, 1765 ~ 1833)和达盖尔(L. J. H. Daguerre, 1787 ~ 1851)的发明向法国议院宣布的时候,他具有预见的眼光,特别着重指出照相术将在天文学上作出伟大的贡献。他说:“我们有理由希望得到月亮的照相图,那就是说我们可以在几分钟内完成天文学上一桩极其繁重、精确而且细致的工作。”

他更进一步说明我们可能应用照相术于天文光度学与分光学。真的,他像先知一样,说明新天文学要从照相术里成长的情况。

可是照相术在那时还是在很原始的阶段,要它去促成天文学的进步,还须经历一段时间。太阳的照片第一次于 1845 年在巴黎天文台经法国物理学家费佐(Fizeau)和傅科(Foucault)所拍得,照片上有几个黑子。光球上的米粒斑和明亮的光斑,以后方经人拍得,德国克尼格堡天文台台长布施(Busch)得到照相师贝科夫斯基的协作,于 1851 年日全食的时候,拍摄得日冕的照片。月光虽然比较暗些,但早在 1840 年已经由美国人德腊珀尔(J. W. Draper, 1811 ~ 1882)拍得,1849 年邦德(W. C. Bond, 1789 ~ 1859)更用哈佛天文台 15 英寸折射望远镜拍摄。^①次年邦德第一次拍得一等明星织女星(天琴座 α 星)和双星北河二(双子座 α 星)的照片。

但是须等待到 1851 年,斯科特-阿彻尔(Scott-Archer)发现了珂洛酞(collodion)湿片法,比以前达盖尔的方法灵敏十倍至百倍的时候,从 1858 年开始所拍的照片,对天文学才算有真正的贡献。

那时的仪器原来本是为目视观测而设计的,对于照相颇不合适,经过几年才将旧仪器改进,更制造新仪器,以达到照相的目的。

这以后资料积累很快:1858 年伦敦附近的丘(Kew)天文台开始对太阳进行每日照相观测;1858 与 1860 年两次日全食观测时才初次拍摄得日珥的清晰记录(§ 33);1857 与 1859 年英国天文爱好者德拉吕(Warren De La Rue, 1815 ~ 1889)才初次拍得细节清晰的月亮图;美国

^① 天文照相的早期历史经诺尔曼(D. Norman)叙述,登载于 *Osiris*, V, 1938(哈佛单印本, 1953);并参看哈佛天文台霍夫勒特(D. Hoffeit)的《天体照相的几个第一》(*Some firsts in Astronomical Photography*)一文(1950)。

天文学家邦德继承他父亲任哈佛天文台台长,于1857年对双星开阳(大熊座 ϵ 星)作了照相的测量。



东德天文台的射电望远镜

抛物面反波镜的口径长7.50米,支柱和安装接收器的小屋都是由德国遗留的雷达改装而成,镜面是铁丝编成,作用像一个连续的反光镜面,将射电波反射,汇聚在一点上。

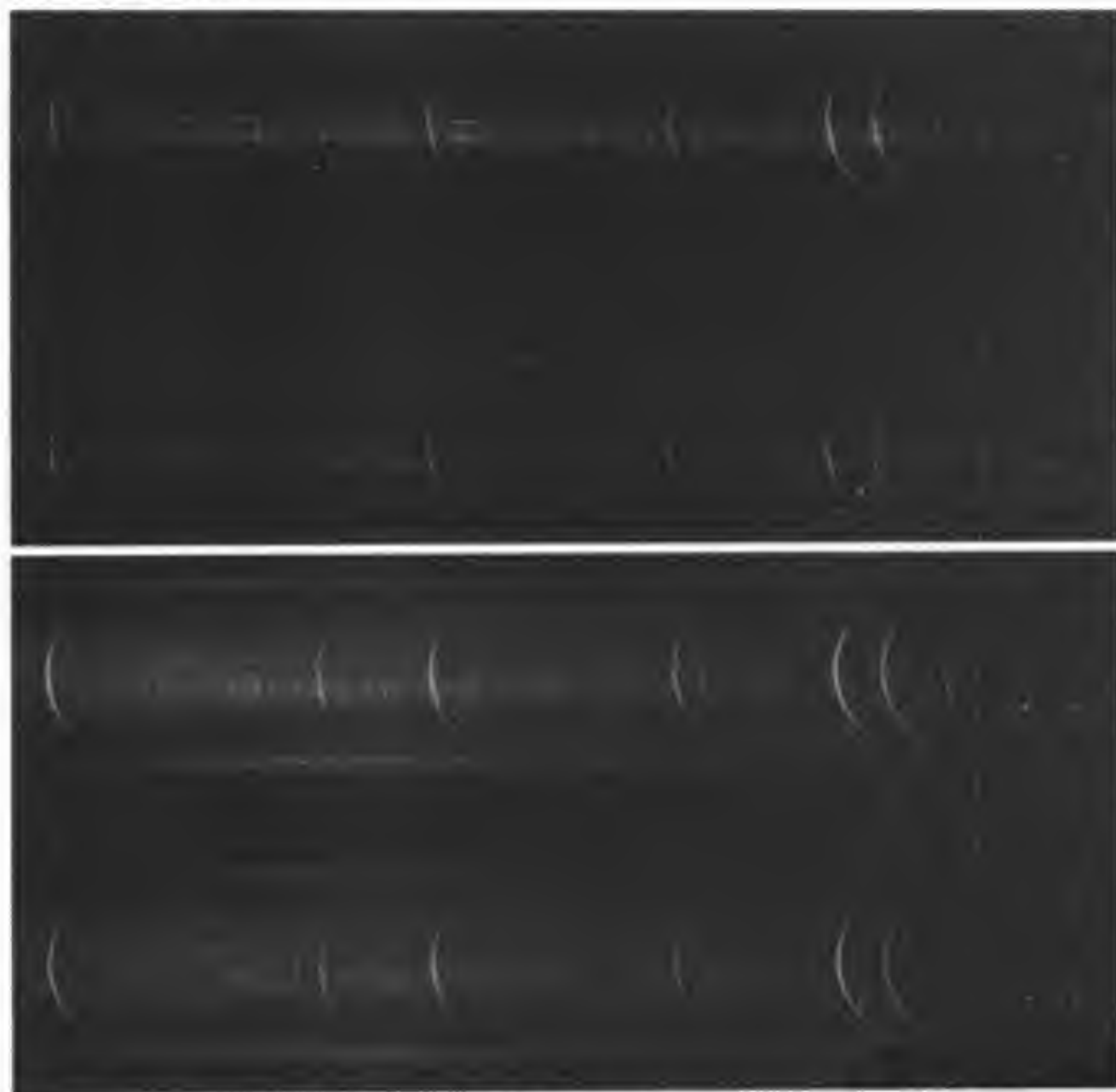
法国天文学家兼物理学家傅科(Léon Foucault, 1819~1868)制造出第一具在玻璃上镀银的反射望远镜,因为这种仪器既有高度的反光力,而又完全免除色相差,对于分光与拍照都可算是合于理想,很快就代替了牛顿的黄铜反射镜,以后更代替了折射镜,作为天体物理学的工具。

由于这样的巧合,凡是新天文学成长所需的主要仪器都在1857至1859年间差不多同时发达起来,这就使得近代天文学,特别是天体物理学突然发展,我们将概略地叙述如下。

33. 太阳的研究

太阳的光谱 德国物理学家克希霍夫(Gustav Robert Kirchhoff,

1824~1887)找着了夫琅和费谱线的解释,且因他的研究奠定了天体物理学的基础。1859 年他与化学家本生(Bunsen)合作,研究火焰的光谱和电弧里金属蒸气的光谱,这引导他对太阳光谱里有名的 D 线作详细的讨论。他说:



1952 后 2 月 25 日所拍摄的闪光谱(在卡土穆拍摄)

注意:当月亮逐渐将低层色球掩蔽、我们观测到高层的时候,光谱便逐渐简单化。露光时间在食既以后依次是:0.5,2.0,3.6 和 5.8 秒。

“为了用最直接的方法去检验钠的谱线和 D 线可以重合这个现象,我先作出一个不太明亮的太阳光谱,并且把含有钠蒸气的橙色火焰射到光缝上去。我于是看见黑色的 D 线变为明线。将由本生灯火焰而来的明亮钠线射在太阳的光谱上时,这条线特别明亮。为了找到太阳的光谱应该增加到怎样的强度才不致影响 D 线的光明,我使全部

日光透过钠的火焰然后照在光缝上,我很惊异地发现黑色的 D 线仍然异常明晰。我于是用石灰光的氢氧焰去代替日光,这种火焰和一切炽热的固体或液体一样,光谱里没有黑线。如果将这种光投射在含有食盐的橙色火焰上去,于是在这光谱里钠线的位置上,出现了黑线。如果我仍假设钠的火焰吸收相同折射率的发射谱线,而却让别的光线完全透过,这现象便很容易得到解释。”

克希霍夫再用含锂、钾等的盐进行同样的实验之后,便作出结论说:“发连续光谱的光线穿过每种炽热气体,强度达到相当程度的时候,这气体的光谱必发生反变(或自蚀)的现象。”

以后不久他宣布了分光学上的两个基本定律,这些定律现今还叫做克希霍夫定律:

(1)每一个化学元素有一种特殊的光谱。

(2)每一元素可以吸收它能够发射的光线,这便是谱线的反变或自蚀现象。

以后,他又说:炽热的固体或者液体发连续光谱,气体则发不连续的明线光谱^①。

于是克希霍夫了解太阳光谱里的黑线是由于光球所发的连续光谱被太阳大气里的蒸汽所吸收而成的,所以“反变层”这个名词给予太阳大气里谱线形成反变的区域。将这些谱线和实验室里各种元素的光谱加以比较,克希霍夫立刻证识了许多谱线,宣布太阳里有许多地球上常见的元素,如钠、铁、钙、镍等。这一发现有很大的哲学意义,因为这证明常见的化学元素存在于天体上,亦如存在于地球上那样,以后的研究都证实而且扩大了这一结果。

这以后太阳光谱的研究立刻得到很大的发展。早在 1860 年英国人布儒斯特(D. Brewster, 1781 ~ 1868)便了解落日的光谱的暗黑光带是由于地球大气里的气体的吸收而成(大气谱带)。1865 年法国人让桑(J. Janssen, 1824 ~ 1907)用实验证明这些大气谱线是由大气里的氧和水汽作成,因为他观测经过一长柱空气的远处灯光的光谱,而发现了这些大气谱线。1866 年英国天文爱好者洛基尔(Norman Lockyer, 1836 ~ 1920)将太阳的像投射在分光镜的光缝上,仔细研究太阳表面各部分的情况,他才明白黑子之所以黑,不单是因为它的光谱里发射线

① 以后发现高压下的气体也发连续光谱。

减少,而且吸收线在黑子的光谱比在正常光球的光谱里多而且强,这是使温度降低的两个征象。

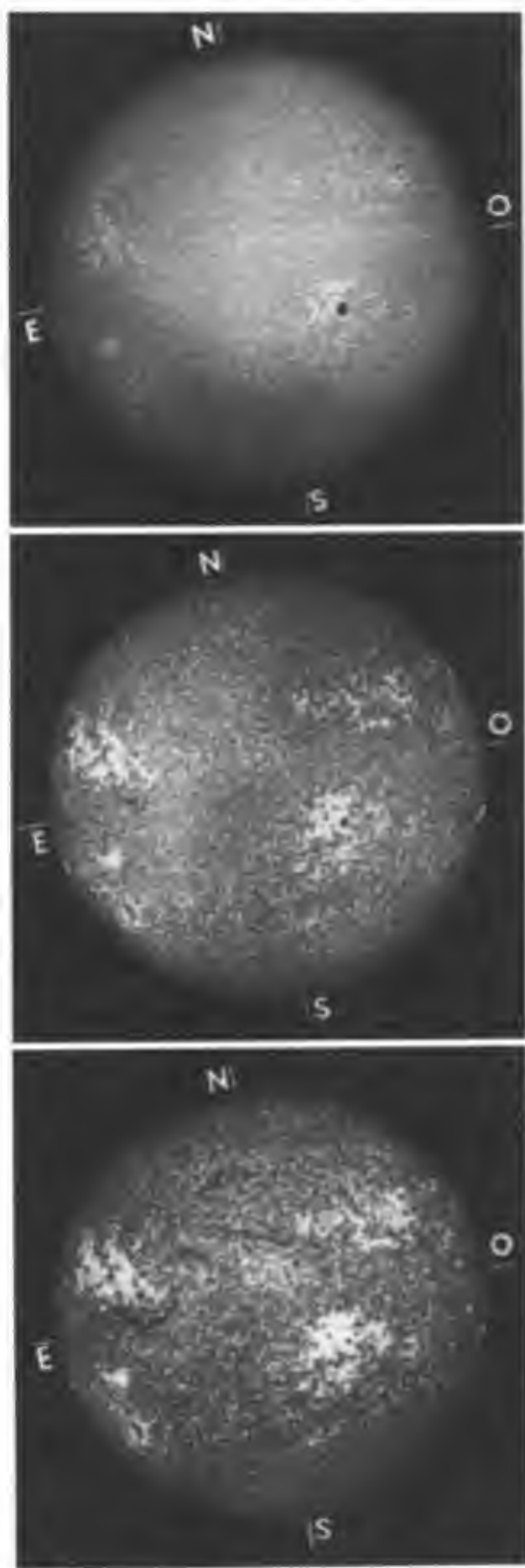
对太阳的正常光谱(夫琅和费光谱)的研究因物理学家们的努力,同时也有发展。1869 年瑞典物理学家埃格斯特龙(A. J. Ångström, 1814 ~ 1874)刊布了太阳光谱里 1 000 条谱线的波长,并以他的姓命名的单位来表达(1 埃 = 1×10^{-7} 毫米)。这工作不断地被美国的德腊珀尔(H. Draper, 1837 ~ 1882)、英国的阿布尼(W. Abney)、法国的科尔努(M. A. Cornu)发展。还有美国的物理学家劳兰德(H. A. Rowland, 1848 ~ 1901)于 1886 至 1895 年间刊布新的波长表和详密的光谱图,记载太阳光谱里从紫外区以至红色区 1.4 万条线的确切波长和大约的强度。这个图表仍然是研究太阳光谱的基础。同时在太阳里被证实出的元素继续增加,在劳兰德的时代已经证实了 39 种元素。^①

克希霍夫的研究从根本上推翻了以往的太阳理论,他一方面证明太阳的大气处在高温之下,因为那里的金属是气体的状态,另一方面光球因为发连续光谱,那里的温度还要高(因为谱线以吸收的状态出现),所以太阳的温度向内面增高。最后,太阳黑子应该被看做是温度较低的区域,克希霍夫把黑子比拟为一种云彩。以上这些见解经克希霍夫于 1861 年刊布在他的名著《太阳光谱论》里面。

这些见解继续发展,到了 1865 年经法国天文学家法伊(Hervé Faye, 1814 ~ 1902)综合而成太阳的新理论。法伊想用他的理论说明新研究所揭示的一切事实。将整个太阳当做一团气体,由内部而来的热量向外边辐射,这样的理论是第一次经人提出。至于能量转移的机制,法伊以为是借上下的对流作用,使太阳体内的物质混合,这样使化学变化强的物质上升到光球层,而形成炽热的情况,于是这些物质在那里凝聚、下落,再被内部的高温分解。这种想法,虽然和那时的知识相合,可是经过 20 世纪理论的研究,已经被人放弃了。但是法伊的理论在那时总算是一个大的进展,开辟了近代的太阳理论的道路。

对太阳表面经常拍照,自 1858 年在丘天文台开始,一直进行到 1872 年,对于太阳表面的现象(黑子和自转),供给了第一套系统的、客观的记录。这种观测工作经蒙德(E. W. Maunder, 1851 ~ 1928)的提倡,

^① 1928 年出版的增订的劳兰德表,有谱线 2 万条,证实出 57 种元素;1952 年的版本里在 2 935 与 13 495 埃之间载有 2.6 万条线,元素增加到 67 种。



太阳单色光照相图

1927年7月29日用电离钙K谱线拍照。自上而下:a)K₁照片(谱线的翼部),b)K₂照片(中部),c)K₃照片(谱线中心)。

于1873年继续在格林尼治天文台做下去。这种太阳照片连续每日拍摄,一直到现在,从来没有间断,以后印度的科达卡那(Kodaikanal)和别的几个地方建立起同样的观测站,于是在太阳活动的周期里,黑子所占的面积、运动以及在纬度上的变化,才能精确地测定,这些观测在太阳的研究上作出很重要的贡献。

但是在太阳照相这一部门,这一时期最使人瞩目的成就是法国默东天文台首任台长(1876)让桑所作出的。他使用一具特制的小型望远镜(口径不到15厘米),再使日光透过棱镜,将日像放大(直径达50至70厘米),他得到相当明晰的光球上的米粒斑的图形,其直径不过几弧秒。这些米粒斑被人当做是光球物质的对流现象,这见解还或多或少地保留到现在。

将分光学应用于研究日食,也使太阳物理得到飞速的进步。1868年8月18日的一次日全食,有法、英两国的几个远征队从事观测。他们说明月亮黑轮周围出现的日珥(“淡红色的火焰”)的光谱里面有几条明线,其中特别显著的两条(一红一蓝)不久经证实是属于氢

气的,而且在 D 线附近还有一条橙黄色的明线。这观测确切地说明日珥确实是属于太阳的,而且是太阳上面气体的爆发现象。让桑从这些观测所得到的最重要的成就,是“发现一种方法可在任何时候,不须依赖不透明物体掩盖日轮,我们也能观测日珥和太阳周围的区域”。

让桑感觉这些明线很明亮,他因此想即使不在日食的时候,也许可以观测得到日珥。他说:“在日食后的第二天,我果然应用这个方法得到成功,我可以用这新式的人造日食的方法,整天观测到这些现象。”因为使用大色散的分光镜,大气散射日光所成的连续背景被展开而削弱,但是日珥的光因汇聚在几条单色谱线上,而没有被削弱,因此将分光镜的光缝按切线的方向绕着日轮外围转动,用氢气的明线观测,可以描出日珥的轮廓。

由于巧合,英国天文学家洛基尔在 1866 年也想到这种观测技术,当 1868 年 10 月让桑宣布他的发现的时候,洛基尔正在独立作同样的观测。洛基尔更发现日珥由贴近日面的一层气壳发出,他把这气壳叫做“色球”,这个名词今天已普遍使用。

次年(1869)8 月 7 日日全食的时候,洛基尔更观测到日珥所发出的橙黄色明线不与那时已知的元素的任何谱线相合,他便主张这条谱线是太阳里特有的元素所做成的,于是他把这元素叫做“氦”^①。这个新元素在 25 年以后(1895 年)才经英国化学家雷姆塞(W. Ramsay, 1852 ~ 1916)在地球上发现了它。

日珥在那时已经能够每日得到观测,所以进步很快。早在 1869 年英国天文爱好者哈根斯(W. Huggins, 1824 ~ 1910)说明日珥的观测可以不必分段进行,将分光镜的光缝敞开,可以窥见它的全貌。德国天文学家泽内尔也在同时发表了这个意见。因使用这个方法,次年(1870)人们得以辨认出有两类日珥:云彩状的“静息日珥”和火焰状的“爆发日珥”。自从那时以后,日珥的每日观测和黑子一样,整个日轮上的情况被绘成图画。在这方面的早期观测者有意大利人塞西(A. Secchi, 1818 ~ 1878)、雷斯皮季(L. Respighi, 1824 ~ 1889)与塔基尼(P. Tacchini, 1838 ~ 1905)等。这些观测积累下来,显示出日珥的数目与其活动程度的变化周期与黑子盛衰的周期相当密合。由这些观测

^① 氦是英文 helium 的音译,这个词的原意是太阳,所以日本人译作“氦”,意思是“日里的气”。——译注

更表现日珥出现在两个主要的区域,一区在黑子附近,另一区在没有观测到过黑子的两极地区。

1869年12月22日日全食的时候,美国天文学家杨(C. A. Young, 1834~1908)观测到一种很重要的现象,他说:“在食既以前,我仔细将光缝校准来和日轮上将要食既之点相切。……当娥眉形的太阳愈来愈窄狭,我看见视场里所有的黑线在消逝,可是当月轮终于将整个光球掩盖了的时候,忽然间整个视场里充满了明亮的谱线,这样一下闪出光明,又逐渐消逝,在还不到两秒钟之后,什么都没有了。……”

杨立刻明白:“这一观测给予克希霍夫关于太阳结构与黑线来源的理论一种强有力的证明。”

事实上杨所看见的是由反变层里蒸气而来的发射线,这些线在平时只造成夫琅和费光谱里的吸收线。这种由太阳大气的反变层发出转瞬即逝的光谱叫做闪光谱,是可由克希霍夫的理论解释的。

在以上所说的那些日全食观测里,人们也用分光的方法去研究日冕。美国天文学家哈克内斯(W. Harkness)于1869年首先发现日冕所发出的光主要是一条绿色谱线,这条谱线的波长经杨于1870年的日食时加以测定。因为这条线不能被认为属于任何已知元素的谱线,以后便经人假设是太阳里某未知元素的表现,并且把它命名为“氦”。可是不像氦,氦没有在地球上被寻找到,原因是这假想的元素并不存在,一直到了最近十几年,日冕的绿色谱线才经人解释明白(第六章§38)。

自1869年以后,每次日全食的时候,日冕的系统照片表明黑子活动的周期对太阳本身的情况有实质性的影响。例如1871年日全食时太阳在最大活动期间,日冕向四周伸长,正如让桑所说的“像一朵大丽花的花瓣那样”。1875年的日食正当太阳活动的减弱期,日冕的形状像一个长方形,在两极的方向要短一些。还有1878年的日全食发生在日冕活动的极衰期,日冕只在太阳的赤道带伸长,在两极区仅是几束纤细的光芒而已。

日冕的形状随日面活动的周期表现出这种系统性的变化,自从那时以后每次日食的时候都由观测得到证实。

太阳的热量 一直到了19世纪,人们还不明白太阳所发出的热量究竟有多少。第一次的测量在1837年,是法国物理学家普耶(C. Pouillet, 1790~1868)与约翰·赫歇耳各自独立进行的,他们说明在大气之外,地球从太阳接收的热量,每平方厘米上每1分钟内约有2卡。

这结果经以后的研究证明在数量级上是正确的。虽然直到 19 世纪末,这数字的测量还很不确定,可是人们已经把它叫做“太阳常数”了。

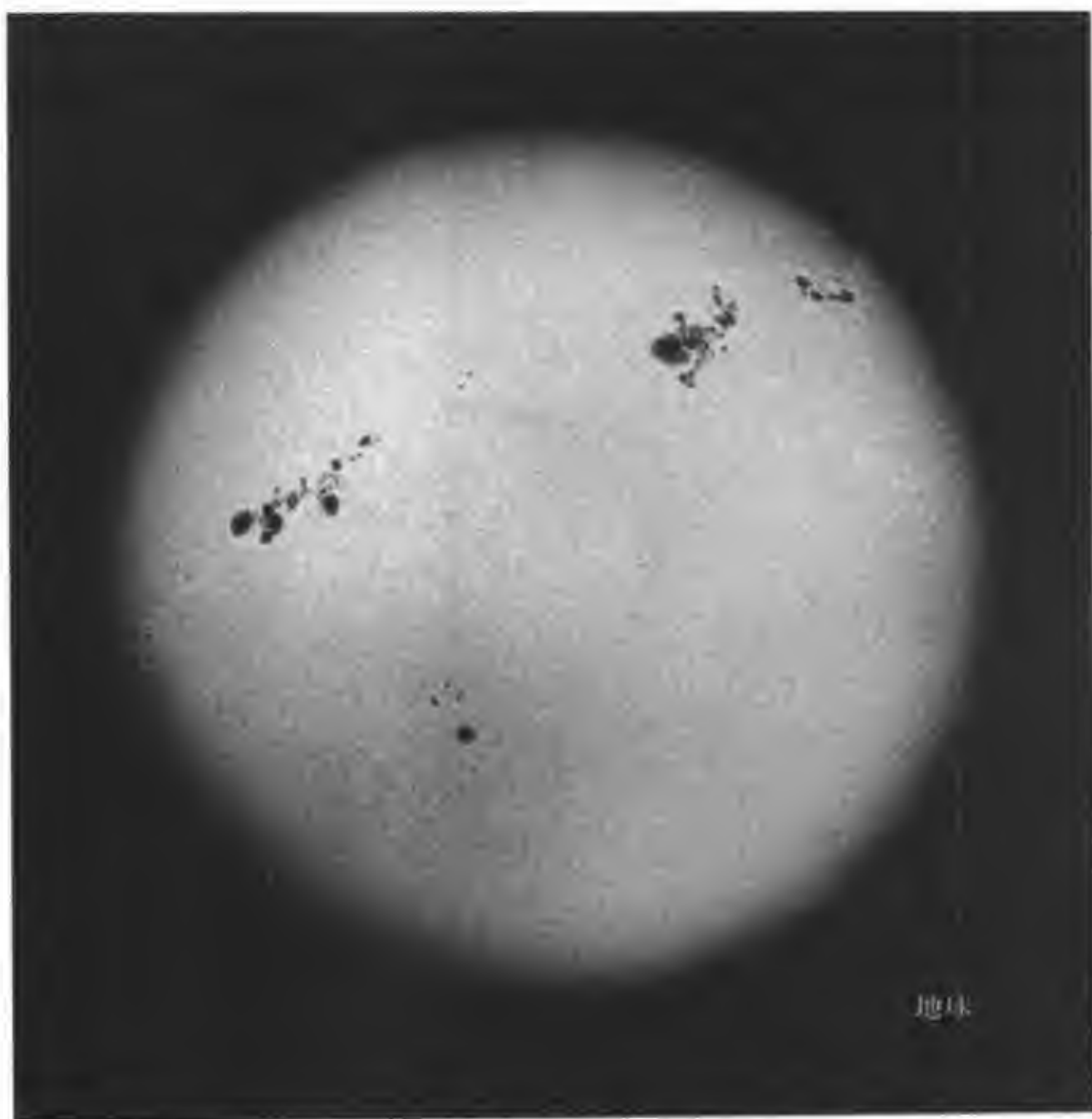
只凭地球所接收的能量的数字,还不能测定太阳的温度,我们还须知道物体的总辐射和温度之间的定律。19 世纪中叶人们还不知道这个定律,所以温度的估计纯粹是任意的,例如普耶将太阳的温度估计为 1 500 摄氏度,塞西却估计为 500 万至 1 000 万摄氏度。

到了 1879 年奥地利物理学家斯忒番(J. Stefan)公布了以他的姓命名的定律以后,我们才求得太阳温度的确切值是 $6\,000^{\circ}\text{C}$ 。斯忒番定律说:“物体所发的辐射量随它的温度的四次方而变化。”这以后,辐射定律的知识进一步证实了而且更精密测定了这一数值。可是因太阳常数的未能确切测定,便使太阳的温度在很长的时期里亦未能精密测定。

太阳常数的精密测定,起初有法国物理学家维沃耳(J. Violle, 1841 ~ 1923),他于 1875 年在白山观测得的数值是 $2.54 \text{ 卡} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{分}^{-1}$ 。我们还须提到美国物理学家朗格勒(S. P. Langley, 1834 ~ 1906)的观测,他于 1881 年使用那时刚发明的电阻测辐射热计(bolometer),详细地记录了从紫外区以至红外区太阳光谱里所有的辐射。不幸朗格勒将大气吸收的分量估计过高,因此从他的观测所推得的数值(3 卡)比一般的太阳常数的数值超过很多。可是他的研究开始了太阳辐射研究的近代阶段,这一研究至今仍为他在斯密桑学院天体物理台的承继人继续进行着。

太阳热量的来源 直到 19 世纪中叶,太阳热量的来源还完全是一个谜题,那时物理学还没有进步到能够说明这个问题的程度。可是远在 1848 年德国物理学家默耶尔(R. Mayer, 热力学的一位创立人),倡言太阳的热量可以从流星不断地落到太阳上而来,但是这不久就被人觉察这种来源在数量上实在太少,而且一方面因为流星不落于太阳上面,仅循闭合轨道,绕着太阳运行,再则欲维持太阳发出的那样大的热量,落于日面的流星之多,应该使太阳的质量在最近 2 000 年内有显著的增加,但是由行星运动的研究,表明这是没有的事情。

关于太阳热量来源,第一个可称道的理论是 1854 年德国物理学家赫姆霍兹(H. von Helmholtz, 1821 ~ 1894)所提出的。他说像太阳那样散发辐射的气团必定因冷却而收缩。当分子在收缩中向太阳的中心坠落的时候,势能变为动能,又转变为热,于是借这种机制以维持太阳所发射的热量。这个理论和当时人所信从的拉普拉斯的日系演化理论(第三章



太阳和地球

巨大的太阳体积是地球的 130 万倍。太阳上的大黑子群,隔着云雾用眼睛可以直接看到。它们是太阳表面温度较低的部分。

§ 18)是符合的。假设太阳起源于无限辽阔的星云,由计算得知因收缩产生的能量,足以维持太阳的辐射,像现今所发射的分量,到 2 000 万年之久,而且还可维持同样长的时间于将来。当时的地质学家还不大明白地球的年龄,^① 关于太阳热量来源的这一理论直到 19 世纪末还被认为是合适的。直到 20 世纪初,人们才感觉由这理论产生的热量还是

^① 1897 年开耳文爵士还以为地球的年龄在 2 000 万与 4 亿年之间,很可能小于 4 000 万年。可是他这一估计却小了 100 倍。

太少,一直到我们这个时代,这问题才得到解决(第七章 § 42)。

太阳的视差 19 世纪中叶,恩克根据 18 世纪由金星凌日的观测所推得的太阳视差的数值(第三章 § 17)还为天文界所公认,但是到了这个时期人们对这个数值开始怀疑。

首先,因天体力学的进展,发现一些间接的方法,由月亮和地球运动的差数以计算太阳的视差(我们不能在这里讨论这些方法)。1855~1860 年间勒威耶和汉森所求得的数值和 $8''.95$ 很相近,比恩克的数值($8''.57$)大了许多。

光在地上传播的速度经傅科和费佐在实验室里加以测定,还有斯特鲁维在普耳科沃天文台根据许多的恒星观测,求得光行差的数值,综合上面这两个数值便可算出太阳的距离(第三章 § 14)。因此傅科在 1862 年所求得的太阳视差是 $8''.86$ 。同年根据许多天文学家对火星的观测,求得的数值在 $8''.93$ 与 $8''.96$ 之间。1864 年德国天文学家波瓦耳基(C. R. Powalky)重新讨论 1769 年金星凌日的观测,算出太阳的视差是 $8''.86$ 。1865 年美国天文学家纽康(S. Newcomb, 1835~1909)将当时可用的数据综合讨论,求得的数字是 $8''.85$ 。

最后,期待许久的金星凌日终于在 1874 与 1882 年发生了。许多国家作了很多的筹备,希望由观测求得最好的数值,不幸因观测上的困难引入严重的误差。由 1874 年的凌日观测,天文学家所求得的数值在 $8''.76$ 与 $8''.91$ 之间。由 1882 年的另一次凌日观测数值是在 $8''.80$ 与 $8''.85$ 之间。纽康重新讨论前两世纪的四次金星凌日,于 1895 年算出的最终的数值是 $8''.797$,与用光行差的方法根据光的速度算出的数值 $8''.794$ 很是相合。虽然取得这一些成绩,但是用金星凌日去测定太阳视差的方法,完全被人放弃了。我们敢断言今后两次凌日(在 2004 与 2012 年),天文工作者绝不会为这一个目的去作观测,因为我们已经有了更精确的方法,将要在后面加以叙述(第六章 § 41,第七章 § 47)。

34. 月亮与行星的研究

这方面的研究直到 19 世纪末才从兴起的天体物理学得到一些帮助。

这时期的主要观测者当推意大利天文学家斯基帕雷利(G. Schia-



地球和月球合影

1992年,“伽利略”行星探测器在飞往木星的旅途中回首地球,拍下了这张地(大)月(小)合影,这时离地球有620万千米之遥。你瞧,它们多像一对“双行星”。

parelli, 1835 ~ 1910), 他从1862年以后即担任米兰天文台的台长。他对流星的研究作出了重要的贡献(§ 35)之后,于1877年转移他的注意力去研究行星。那年适逢火星的最好一次冲日,^① 他使用一具9.5英寸的望远镜去作仔细的观测。他由这些观测绘成一幅比从前优良的火星图。这幅图内特别显著之点是许多连接明亮区域的细窄的直线,斯基帕雷利把这些线叫做“运河”。在1879年以后一次火星冲日的时候,斯基帕雷利又看见了他的“运河”,而且还发现了更多的“运河”,他把这些水道绘得十分直,像人造的那样,于是使他想到“运河”这个名词不仅只有一种借用的意义,实际上真有这种人造的沟渠。到了1881年,火星表面上这些现象更加奇特,因为斯基帕雷利发现有些运河有

^① 在这一次冲日里,美国天文学家霍耳(A. Hall, 1829 ~ 1907)在华盛顿天文台发现火星的两颗小卫星。

时分叉为两支,有些地方原来只看见一条运河的,在同一天或者次一天就出现两条平行的线,中间相隔约有几百英里,他把这样的现象叫做“对生的运河”。

别的观测者很难证实这些发现,因此大家以怀疑的眼光去对待它,于是引起热烈的争辩,到今天还没有完全休止(第六章 § 39)。

斯基帕雷利也很注意观测水星和金星,在 1889 与 1890 年他宣布说这两颗行星的自转方式与月亮的自转属同一类型,即绕轴自转的周期等于其在轨道上公转的周期。这些行星常以相同的一面对太阳。此后的观测证明水星的运动确是这样的,可是对于金星而言,还有可疑之点。此后不久,英国数学家达尔文(G. H. Darwin, 1845 ~ 1912)说明内行星运动的这种特性是由太阳而来的潮汐作用阻挡了它们的自转的原故,和这效应类似的结果便是由月亮而来的潮汐使地球的自转缓慢,因而在月亮的视行上表现出长期的加速度现象(第三章 § 13)。

1879 年木星表面上“大红斑”的发现,引起了人们的注意。这红斑在那一年里颜色最浓,以后常被人观测到,但它的浓度经常变化。考察前人的图画,得知大红斑并不是新的发现,因为在 17 世纪里卡西尼已经把它描绘下来了。当大红斑再度被人发现的时候,人们根据泽内尔的理论(即大行星还没有完全冷却)去看它,认为这是木星开始凝固的表现。这种看法已经被人放弃,可是大红斑究竟是什么,到现在还是一个谜。

从光度、分光与照相去研究行星的结果,在那时还很粗疏而且常有矛盾,所以不值得加以叙述,须等待到 20 世纪,这方面的研究才有真正的进步。

35. 彗星与流星的研究

19 世纪 60 年代,因 1858、1861、1862 与 1864 年几颗大彗星过近日点,人们对彗星与流星研究的兴趣异常活跃。1861 年的那颗慧星所以引起人们的注意,因为那年 6 月彗星的尾巴扫过地球,但对地球没有显著的影响,表现了彗星的无害性。1862 年的那颗彗星表现更重要的意义,因为由它人们得以知道它和 8 月里所看见的流星之间有亲属的关系。

流星群的问题于 1864 年经美国天文学家 H. A. 牛顿再度加以研究,他搜集了关于 11 月流星群的一切历史记载,预测在 1866 年 11 月 13 至 14 日将有很大的流星雨出现,英国的亚当斯证明这些流星在一个很长的椭圆轨道上运行,周期是 $33\frac{1}{4}$ 年。这个预测得到胜利的证实,人们又欣赏了 1833 年美丽的流星雨的再度出现。

这现象使人们对流星和彗星的研究,获得一个重要的进步,这便是认识了这两类天体是有关联的。以后不久,在 1866 年之末,斯基帕雷利作了一个惊人的报告,他说 8 月流星群(英仙座流星群)所走的轨道和 1862 年明亮彗星的轨道是相同的。跟着在 1867 年初德国天文学家比特斯(Peters)对于以上的发现更加上一个例子,他说 11 月流星群(狮子座流星群)的轨道根数(为勒威耶所算出)和 1864 年的邓帕耳彗星的轨道根数是相同的,这结论立刻得到斯基帕雷利的证实。以后,还有几个流星群和彗星的轨道经人证明是相同的,其中最重要的当推 11 月末尾所见的仙女座流星群的轨道和已经失踪了的比厄拉彗星的轨道是一致的。

1867 年发现这一现象的几位天文学家毫不迟疑地预言 1872 年这颗失踪的彗星再过近日点的时候,将有美丽的大流星雨出现。事实鲜明地证实了预言,真的在那年 11 月 27 日的夜晚欧洲人看见一阵很美丽的流星雨。1885 年这现象再一次出现。这样证明了彗星逐渐分裂成质点,散布在它们的轨道上,继续围绕太阳运行,经过悠久的岁月。由于行星摄动的作用,这些灰尘似的流星逐渐分离,它们的轨道经过了缓慢的变化,因此流星雨逐渐不大显著,到了地球不穿过它们的轨道的时候,便没有所谓流星雨了。反过来说新的流星群的集团也会和地球相接触的。现在从比厄拉彗星而来的流星仍然于每年 11 月 20 日前后可以出现,但是已经不如过去那样美丽动人了。

自从那时以后,还有一些彗星的分裂被人观测过,有时还可说明这样的分裂是因彗星经过大行星(例如木星)的附近而产生的。

这一时期里关于彗星与流星的物理知识亦有相当大的进步,主要是应用分光的方法去研究这个问题。从物理的观点,第一颗经人研究过的彗星是邓帕耳彗星,这是 1864 年意大利天文学家多纳提(G. B. Donati)所做的工作。他看彗星的光被分光镜分析为相隔很远的三个光带,在一个黑暗的背景上面。这观测证明彗星并不如当时人所想像的只是反射太阳的光,而是像发光的气体那样,本身是一个发光体。

这个论断经哈根斯对 1866、1867 与 1868 年的三颗暗的彗星的观测而得到证实。1868 年还有一颗明亮的彗星出现,哈根斯作了更精密的观测,他很惊奇地发现彗星所发的三个光带和碳氢化合物的光谱里的三个光带相合,他说:“我于前一天夜晚所看见的彗星的光带,就其在光谱里的位置说来,像是和生油气^①的火焰苗所作成的光谱里光带的位置相合。我立刻将这种气体装在一个小瓶里,把它系在望远镜的顶点,当火花在瓶里通过的时候,我看见它的光谱和彗星的光谱并排地呈现在眼前……我所



斯克惹勒(Skjellerup)彗星(1927 IX)用肉眼观测的情况,距离太阳约 1.5° 。上图:1927 年 12 月 15 日 8 时 35 分;下图:2 时 10 分。

预料的在测量上完全得到证实。彗星的光谱和生油气的光谱在一起出现的时候,一切情况都是完全相合的。彗星虽然像狮身人面兽那样狡猾,但是它终于泄露了它的秘密。”^②

由 1874 年证实而且扩大了以前的研究,说明彗星的光亮不是固体质点发出的,而是一种具有电性的光辉,因而人们假设驱迫彗尾的力量是一种电力。

彗尾的精细理论是于 1877 年经俄国天文学家布累基兴(T. Bredichin, 1831 ~ 1904)所完成的,他按驱力和太阳引力的大小的各种比例,由数学方法推出彗尾的各种形态。他以为他可能按照这些比

① 这是乙烯 C_2H_4 和它的分解物。

② 这以后不久,哈根斯观测流星的气体光谱,发现也和彗星的光谱相似。于是在已经说过流星雨和彗星的轨道相合的情况下,我们对这两种天体又得到一种物理的关联。

例的数值,将彗星分为三类,而且这些数值相当于彗星里的三种主要物质(即氢、碳氢化合物和铁),其原子量或分子量是按这些比例而作成的。虽然布累基兴的理论大体已经被抛弃,但是它却是彗星结构的近代理论的基础。

1881与1882年明亮彗星的出现,更促进人们对彗星的研究。1881年照相的方法第一次用来记录彗星的光谱和进行彗星直接的拍摄。1881年6月特布特(Tebbut)彗星同时被法国的让桑和美国的德腊珀尔所摄得。让桑使用一具短焦距的特制望远镜,露光半小时拍摄到彗头与彗尾前端的详细形象;德腊珀尔用通常的物镜摄得彗尾,长达 10° 。德腊珀尔也拍摄到彗星的光谱。英国哈根斯的工作做得更好,他不但拍摄到彗星的紫外光谱,并且求得彗核的光谱是连续的,中间插有夫琅和费谱线,这样证明彗星也反射太阳的光线。

1882年由威尔斯彗星更获得新的观测资料,这颗彗星很近地掠过太阳,它的光谱和别的彗星的光谱大不相同。这光谱差不多完全由明亮的D线组成,这是因太阳的热力由彗核里的钠蒸气所发出的。这现象从以后的几个彗星中也观测到,它是所有很接近太阳的彗星的特征。

1882年出现的大彗星好几天在白昼用肉眼也看得见,因此提供了许多更重要的结果。天文学家注意观测它掠日面经过,可是完全没有看见,这说明彗核体积的微小,比较它过近日点前后的方位没有什么改变,这确切地说明太阳周围的物质的稀薄。这颗彗星也促进了恒星照相,因为它出现在夜间的时候,英国御前天文学家季耳(D. Gill, 1843~1914)在好望角匆忙地将一具小照相机装置在望远镜上,在这张彗星的照片上同时拍到许多暗星。季耳被这结果深深感动,他于是决定用照相机对南天作系统的巡查,以后他更热烈地倡导国际天图绘制的工作(§36)。

36. 恒星的研究

恒星光谱 克希霍夫将太阳研究的结果刊布以后,立刻刺激天文学家使用分光镜去研究恒星。这工作于1863与1864年差不多同时由意大利教士塞西(A. Secchi, 1818~1878)和英国天文爱好者哈根斯进行着。他们两人的研究,在性质上是互相补充的:塞西用低色散度的摄谱仪观测了许多恒星,目的在作光谱的分类;哈根斯用高色散度的

摄谱仪只注意到少数亮星的光谱,目的在详细分析恒星的组织。

1868 年塞西刊布一册包含 4 000 颗恒星的表,他按光谱的现象将恒星分为四类:1. 白色星,如天狼或织女,光谱只有四条氢的黑线;2. 黄色星,如五车二(御夫座 α 星)或大角(牧夫座 α 星),光谱和太阳的光谱相同;3. 橙色和红色星,如参宿四(猎户座 α 星)或心宿二(天蝎座 α 星),光谱里有明暗相间的光带;4. 一些暗红色的星。塞西料想这样的分类是和恒星的温度有相当的联系,但是塞西对于他所观测到的谱线和光带,却没有留意去证实组成它们的元素是什么。

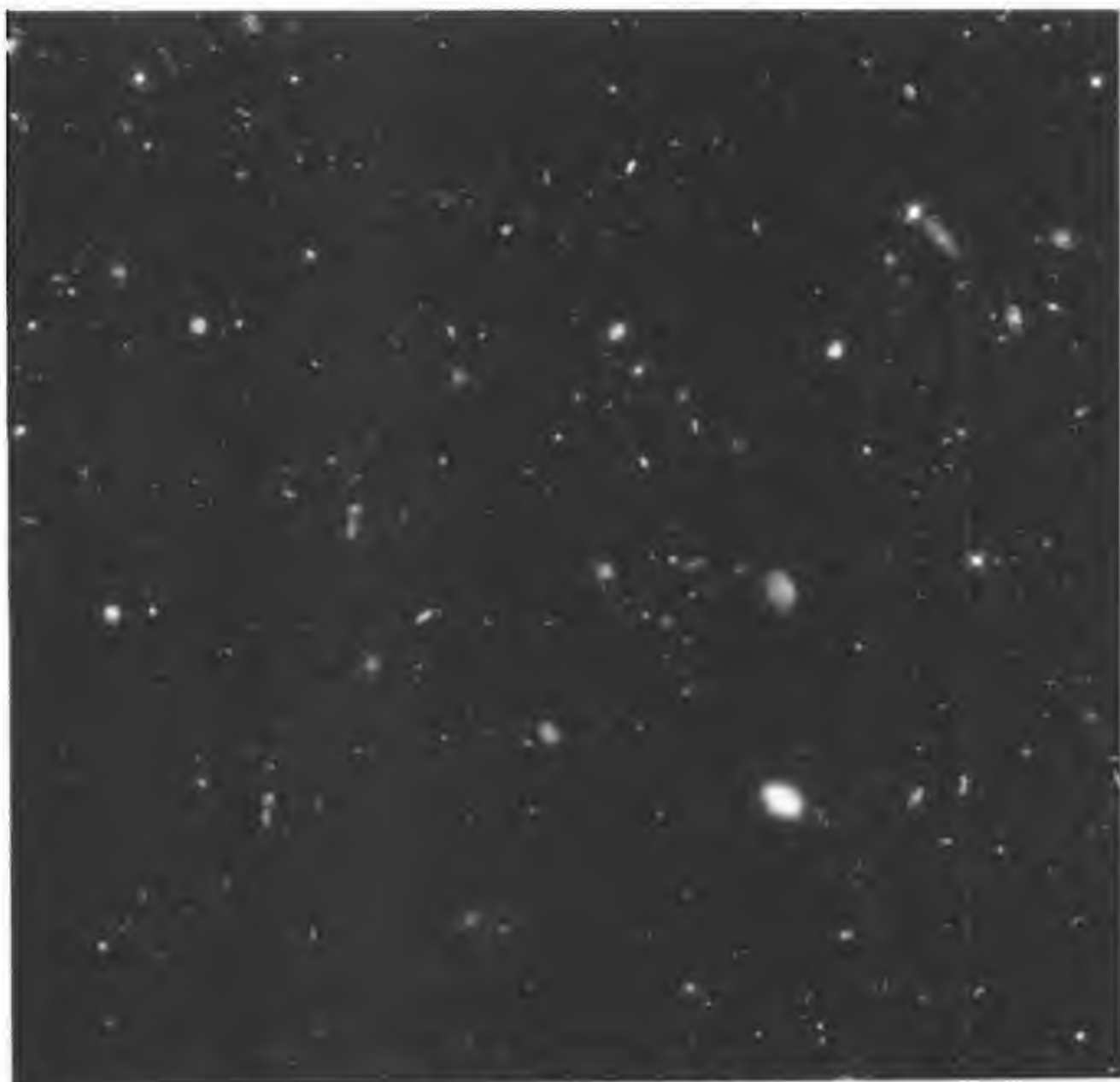
可是哈根斯却将克希霍夫对太阳谱线的证明确认工作扩充到恒星的研究上去,早在 1865 年他已经在一些亮星(如参宿四与毕宿五)的光谱里证明出有属于钠、铁、钙、镁、铋等元素的谱线。

1868 年哈根斯作成功了一个有相当重要性的观测,这便是借多普勒—费佐效应,用分光镜以测定恒星的视向速度。1842 年奥地利物理学家多普勒(C. Doppler, 1803 ~ 1853)指出因声源的相对运动,听者将感觉音调的高低发生改变,他并且说星的颜色必定按照它接近或者远离的速度发生变化。这个见解在原则上虽然是正确的,在实际上却是错谬的,因为波长的改变太小,不足以改变星的颜色,光的速度比星的速度实在大得多。1845 年法国物理学家费佐指出光谱线是很确定很可靠的标准,我们可以用来测量波长上很小的变化。

虽然对这种效应的观测是极端细致的事,哈根斯说:“即使将谱线中的间距放宽,也很难使读者辨别出谱线上有什么变化,要分开因星的运动而来的谱线上的位移和仪器装置上的不正确的位移,需要极端的留心 and 细致的校准。”虽是这样,哈根斯却克服了这些困难,于 1868 年宣布天狼星大约是以每秒 29 英里的视向速度,离开我们而去,以后不久他测量到另外一些一等星的接近或者远离的视向速度。

这一成就有其不可估量的重要性,因为自从那时以后,天文学家所能测量的天体的速度不只是在天球上的投影部分(即速度的切向部分,叫做自行),也可以测量视线上的径向部分。这方法的应用渗透入近代天文学的每一个领域,从太阳的视差的测量以至宇宙膨胀的发现(第六章 § 44)。

这些结果的真实和这个方法的有效,在 1871 年当德国天文学家沃格耳(H. Vogel, 1842 ~ 1907)测量到太阳自转的速度的时候,得到全面的证明,他比较日轮东西两边沿的谱线的位置,因太阳的自转,一边



哈勃望远镜的深空探索

1995 年底哈勃空间望远镜在北斗七星中的一个极小天区拍下了这幅深空探索照片,可以看到有 3 000 多个星系,距离有 100 多亿光年之远。这可以说是人类向深远宇宙空间探索的划时代图像。人类对宇宙的探索将深入、深入再深入,这也是为了去寻找那些最早期的诞生于 150 亿光年前的星系,以便了解宇宙演化的全过程。

向我们来,另一边离我们去。但是多普勒效应的应用是很细致的,在使用照相术去详细记录光谱以前,结果总是有些不确定的。

这以后不久,沃格耳将注意力转向恒星分光的研究。1865 年泽内尔说黄红两色星因为冷却,成为白色星,即演化的后期星。沃格耳根据这个看法于 1874 年提出一种比塞西的方法更细致的光谱分类法。他将光度至 7 等的星加以系统的分类,1883 年他与瑞典天文学家当内尔(N. C. Duner, 1839 ~ 1914)合作,刊布了一册含 4 051 颗星的分类表。

1884 年当内尔又刊布了含 352 颗具有带状光谱的恒星表。这些光谱的来源在那时还是一个谜。那时恒星光谱的目视分类结束了,1885 年美国天文学家皮克林(E. C. Pickering, 1846 ~ 1919)首先使用物端棱镜的方法拍摄得昴宿星团的光谱,于是开始了恒星光谱分类的近代时期(第六章 § 42)。

1887 年洛基尔根据沃格耳的光谱分类,提出一种恒星的演化理论,一方面总结了恒星光谱的目视研究,另一方面对以后光谱分类的复杂性的发现,提供了线索。沃格耳放弃由热红星到冷白星的直线式的演化程序,而提出一种按“温度曲线”变化的两度量的分类法。这曲线的一支相当于温度增长的阶段,继后便是逐渐的凝结;另一支相当于后期的演化阶段,温度逐渐降低,以至星的最后熄灭。简单光谱的白色星放在曲线的顶端,复杂光谱的黄、红色星放在曲线的两支上。洛基尔使用他于 1878 年研究太阳光谱所作的假设去解释高温恒星所发的简单光谱;他假设平常的化学元素在高温的影响下,分解为较简单的元素或“原始元素”。洛基尔以为他根据对太阳光谱一系列的比较实验,说明了这些原始元素的存在。虽然洛基尔的理论经不起以后的考验,但是我们可以把它看做是原子电离的先声,电离这概念是今天光谱分类的关键(第六章 § 42)。

恒星光度学 近代恒星光度学开始于 1861 年,那年德国天文学家泽内尔刊布了包含 226 颗亮星的第一个光度星表。泽内尔用他的光度计比较两颗星的光度,一颗是望远镜聚光的天然星象,另一颗是“人造假星”,即灯光照着的小孔所成的像,这灯光的亮度可用旋转起偏振镜与检偏报器,任意加以改变。泽内尔光度计经过改进,直到今天还在使用。这以后不久哈佛大学天文台的皮克林制造别的形式偏振光度计,他使用这种光度计,于 1879 至 1882 年间,制成第一个大的光度星表(《哈佛光度表》, *Harvard Photometry*),刊布于 1884 年,表中记载有 4 260 颗星的实测星等。这是一本记录暗至七八等星的光度完善的表册。次年(1885)英国牛津天文学家普里恰尔(C. Pritchard, 1808 ~ 1893)刊布了一卷包含 2 784 颗肉眼可见星的表,这是他用“光劈光度计”所测得的,星的光度是由光劈在某一位置上使星刚看不见时而测定的。虽然这种粗糙的方法现今已没有人使用,但是它将光劈介绍入恒星光度的测量。光劈光度计以后常被人使用,代替了泽内尔型的光度计。

这以后天文学家着手更伟大的计划,特别是在哈佛天文台皮克林的领导之下,和在波茨坦天文台密勒尔(G. Müller, 1851 ~ 1925)和康弗(P. Kempf, 1856 ~ 1920)的倡议之下,测定了很多恒星的星等。这工作完成于 20 世纪之初,刊布成《哈佛修订光度星表》(*Harvard Revised Photometry*)和《波茨坦光度星表》(*Potsdamer Durchmusterung*)。

这些星表的编成给予变星的研究稳固的基础,因此变星的研究得到迅速的发展。早在 1880 年已知变星的数目还不到 100 个的时候,皮克林就建议将变星分为五类(有一些现在还被保留下来),他采取 1872 年库德里克发现大陵变星时所作的假设,即把这颗星的有规则的光亮的变化解释为一颗暗星围绕一颗亮星运行作成周期的掩蔽,皮克林由此假设算出这对双星的轨道与大小(图 19)。几年以后(1888)这假设经沃格耳胜利地加以证实,因为他发现了大陵变星的视向速度也成周期性的变化。对这类变星(名叫“食变星”)的研究使我们对于恒星的物理结构得到显著的进步。

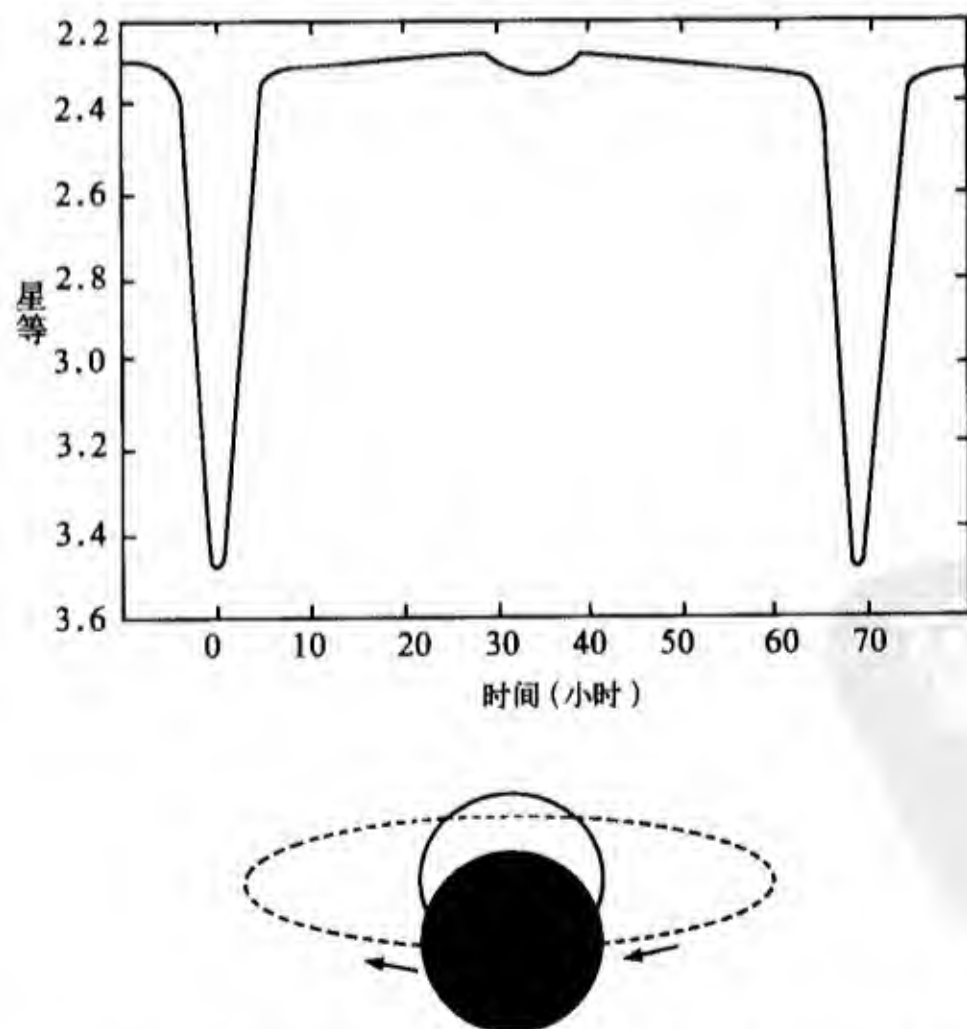
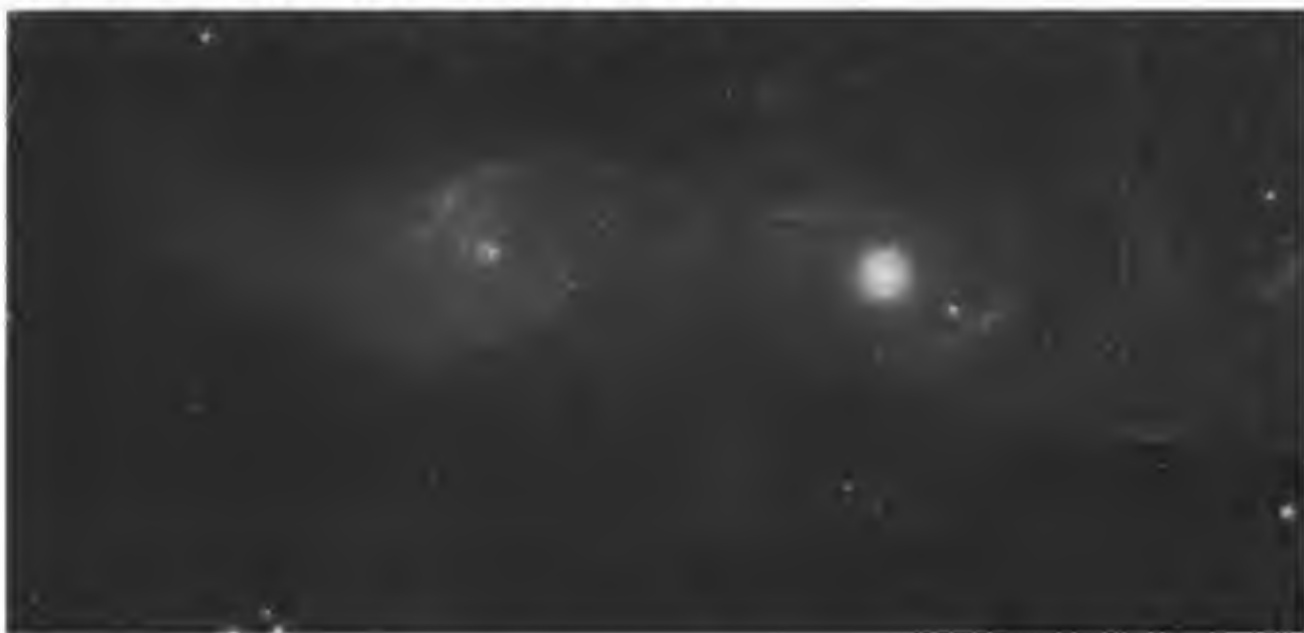


图 19 大陵五变星的光曲线(上图)和食变星光亮变化的解释(下图)

恒星照相 恒星照相自 1857 年经邦德开始实验以后,在 60 年代里有天文爱好者英国的德拉吕和 1865 年美国的鲁塞弗德(L. M. Rutherford, 1816 ~ 1892)继续进行,他们拍得星团(如昴宿星团)的优良照片。但是首先拍得一大批恒星照片的天文学家当算美国的古尔德(B. A. Gould, 1824 ~ 1896),他于 1875 至 1882 年间在科尔多巴天文台工作时,拍摄得南天上的星团照片一千多张。可是须等待到溴化银乳胶发明,照片的感光度达到相当灵敏以后,照相观测才完全代替了恒星的目视观测。

照相星表 我们曾经说过季耳拍摄 1882 年彗星的时候,对于照片上拍得的暗星之多,很是惊奇,于是他想用照相的方法,去编制南天的照相星图。这计划被积极地进行,在 1885 至 1891 不到六年的时间便完成了,所用的物镜口径 15 厘米,露光一小时,拍摄到 10 等星。对这些恒星的位置的归算,由荷兰天文学家卡普坦(J. C. Kapteyn, 1851 ~ 1922)于 1896 至 1900 年间完成,终于刊布了第一个恒星方位的照相星表,名叫《好望角照相星表》(*Cape Photographic Durchmusterung*),记载有 45 万多颗星,现今仍是南天的标准星表。



星系碰撞 NC2163 和 NGC2207(哈勃空间望远镜拍摄)

差不多同时,皮克林也在哈佛对恒星拍照与照相测光开始他的实验,他跟着即在哈佛天文台(以后更在秘鲁的南方站)用口径小而视场大的照相机,对整个天球作连续的巡天照相观测。这种巡天照相以后继续多次,是现有恒星的记录中最完全而且没有间断的资料。

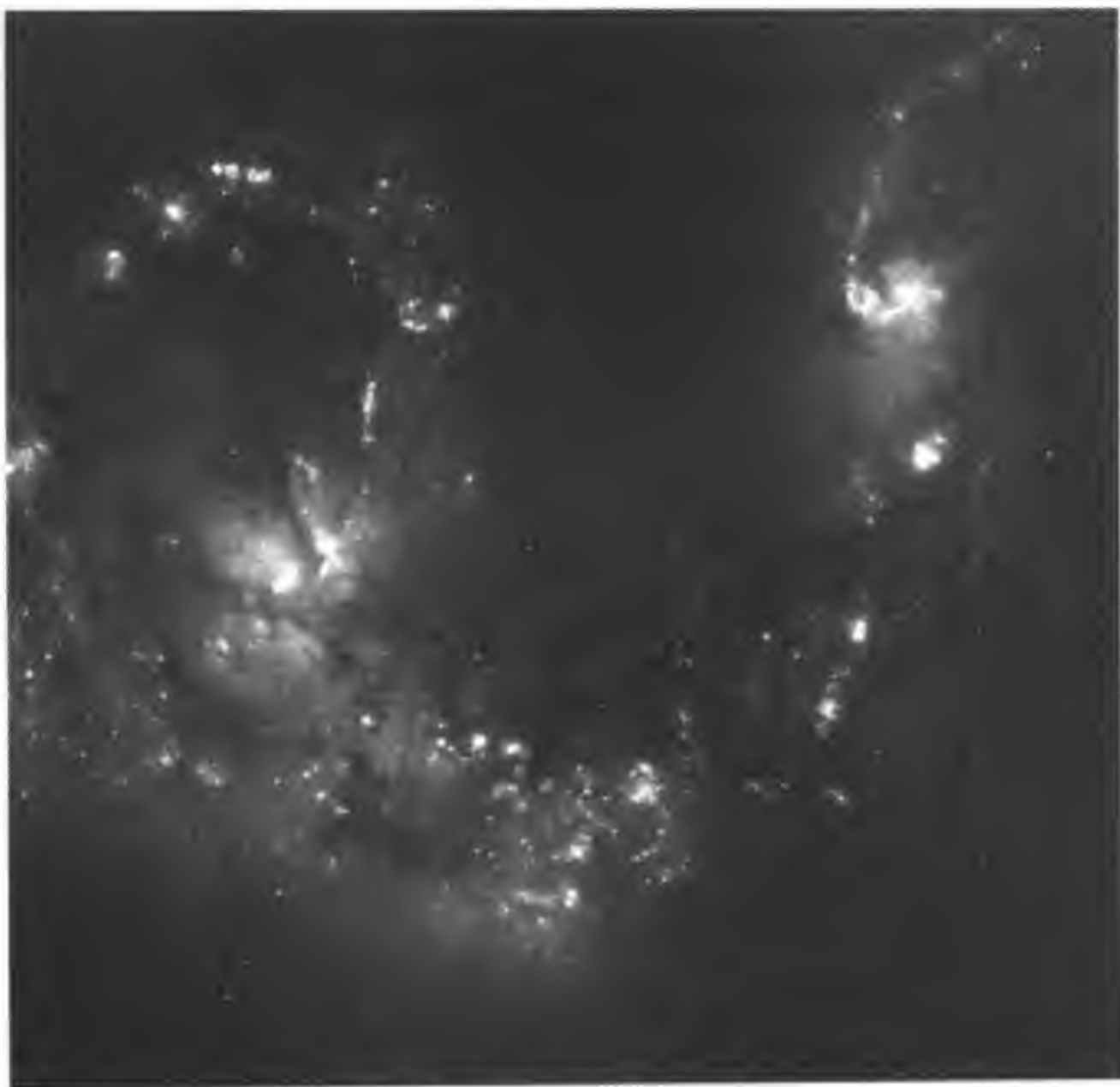
差不多也在同时,法国天文学家亨利兄弟(Paul Henry, 1848 ~ 1905

与 Prosper Henry, 1849 ~ 1903) 在巴黎天文台也做了实验, 结果获得 19 世纪天体照相最伟大的成就, 即国际天图 (Carte du Ciel)。那时对小行星的寻觅引起许多天文学家的注意, 为了方便这一研究, 亨利兄弟从事编制黄道带的天图。他们于 1873 年开始作目视观测, 到 1880 年, 工作已经很有进展。到了黄道与银河相交的区域, 遇见数不清的暗星, 他们感觉只凭目视观测不能完成工作, 因此决定使用照相的方法。他们造了 14 厘米的物镜, 于 1884 年拍摄到很满意的照片, 于是又立即造了口径 33 厘米、焦距 345 厘米的照相物镜, 于 1885 年装置在巴黎天文台。他们所得的结果远远超过他们的希望, 1885 年底他们在一张昴宿星团的照片上, 看出一大片人的眼睛看不见的和恒星联系的星云, 这是用照相的方法发现的第一个星云。昴星团本身比从前详细的星图上的星多两倍, 那样的星图是须借多年的目视观测才能够做成的。那时巴黎天文台台长本歇 (F. A. B. Mouchez, 1821 ~ 1892) 对这些结果表示极大的热诚, 他想召集国际会议来编制全天照相星图的时机业已成熟, 这工作应该分配给全球具备像巴黎天文台的那种仪器的一些天文台。别的天文学家特别是季耳, 被邀请参加这个计划, 得到他们的支持。1887 年会议在巴黎召开, 工作分配给 21 个天文台。当时决定天图上应拍摄到 15 或 16 等的星, 总共约有几千万颗, 还应当附有一种照相星表, 记载亮过 11 等星的方位和星等, 总共约有 300 万颗。这个伟大的工作经历半个多世纪, 费了两代天文工作者的精力, 到了今天才将近完成。这工作的价值要到将来才会显著, 因为将天图的照片重拍一次, 便可测定很多暗星的自行。

天图的工作使人们公认照相的方法是研究天文的重要工具。这也可以当做是近代天文的开始。

和天体照相平行发展的还有恒星光谱的照相研究, 二者共同促成这个新时代。

早在 1863 年, 哈根斯已经用珂洛酊 (collodion) 制的底片去拍摄亮星的光谱, 但是他只拍得线状的, 而没有暗线的照片。可是到了 1872 年美国天文爱好者亨利·德腊珀尔将棱镜放在他的 70 厘米望远镜的焦点上底片前面一点, 拍摄得织女星的光谱, 其中有氢的暗线 4 条。但是须等待到溴化银乳胶的方法发达以后, 才能得到确定的结果。首先使用这种新型乳胶照片的是哈根斯, 他将摄谱仪放在 45 厘米口径的望远镜后面, 拍摄得织女星的光谱, 其中有暗线 7 条; 1879 年他更拍

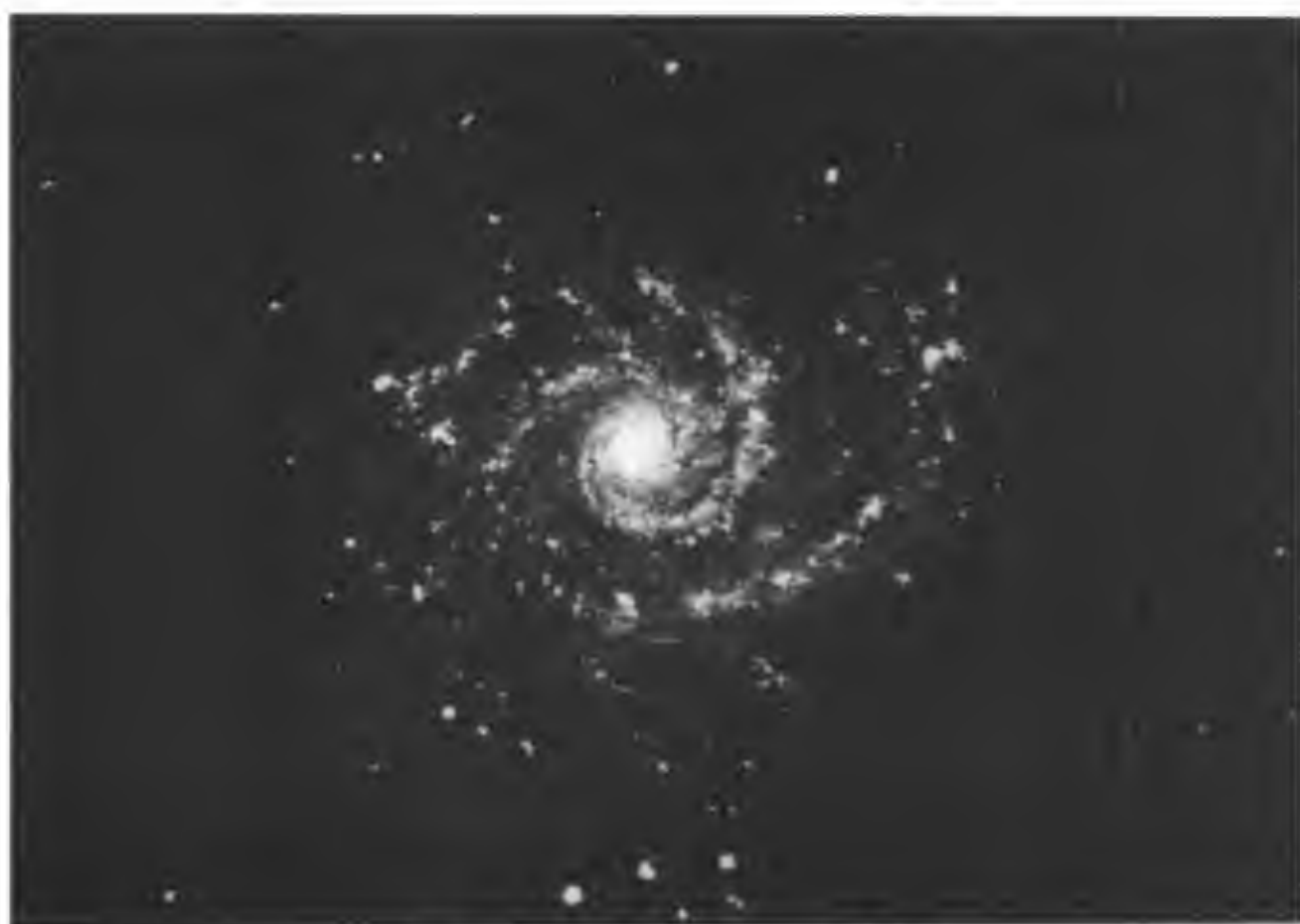


星系碰撞 NGC4038 和 4039

在离地球约 6 300 万光年处发生碰撞,哈勃镜拍摄。

摄得延展到紫外区的恒星光谱,中有谱线 15 条之多。在德腊珀尔这一方面,他于 1879 至 1882 年间,拍照得 50 颗亮星的光谱。1881 年哈根斯首先拍摄得彗星的光谱,其中有反射的日光形成的连续光谱和彗星本身发射的明亮光带。1882 年他更拍摄得猎户星云的光谱,并在这光谱的紫外区发现一条从来没有人知道的谱线。

跟着在 1885 至 1886 年间,皮克林在另外的方向上做了一些实验:他不将棱镜放在望远镜后面去拍摄一颗星的光谱,而将一个大棱镜放在物镜的前面,同时可以拍得视场里一切恒星的低色散度的光谱(这方法已经由塞西用目视法做过)。1886 年皮克林用这个方法拍得昴星团内 40 颗星的光谱,他更借着他独有的精力立即拍摄他的仪器所能



双鱼座旋涡星云 NGC628 的外部

是星族 I 的星所构成的,只有核心才是星族 II 的星所构成。(帕洛马山,5 米口径反射镜拍照)

达到的一切恒星的光谱。这项工作,因亨利·德腊珀尔的遗孀于 1886 至 1887 年捐款帮了大忙,这使她丈夫的光谱工作在哈佛得以继续发展。亨利·德腊珀尔做的工作,标志出光谱照相的成就和近代恒星光谱学的开始。

最后还须提到沃格耳于 1887 年所作的一个重要的成就,即用照相的方法测定恒星的视向速度,跟着在 1888 年便发现大陵变星的视向速度是有变化的,因而证明这颗星是一对双星所构成的(第六章 § 42)。

37. 星云的研究

19 世纪中叶对星云所作的目视观测,不能证实这种天体的物理性质。根据赫歇耳的观测,真正的星云是不能分解为单颗星的,这见解一向被人信从,但是根据罗斯爵士的观测(第四章 § 28),这个观点发生了问题,他以为在他的大望远镜里一切星云都可以分解为单颗星。

1864 年哈根斯开始使用分光的方法去解决这问题。

他说：“我于 1864 年 8 月 29 日的夜晚将望远镜第一次瞄准天龙座内的行星状星云。……我从分光镜里去考察。出乎我意料之外，并没有看见光谱！只有一条明线！起初我还怀疑这是由于棱镜的位置不妥……过一会真正的解释闪过我的脑海。星云只发单色光，所以不像我曾经使用棱镜观测过的星光，它不能形成一条完全的光谱。……再仔细考察一下，在向蓝色的一面还有两条明线，这三条明线中间的区域比较黑暗。”

“星云的谜被我窥破了。从它发射给我们的光所带来的答案应该是说：它不是一群星，而是一团发光的气体。”

以后的观测更证实星云的谱线有几条是氢的谱线，但是一条主要的绿色谱线不能证实其属于任何已知元素。哈根斯以为这是气体星云所特有的一种元素，并且把它命名为“氢”(Nebulium)，直到我们这个时代，这神秘的元素才经我们证明：它的光是普通元素在特殊情况下所发射的一种辐射罢了(第六章 § 43)。

哈根斯于是把他的研究对象推广到别的星云，断定一切行星状星云和广大的弥漫星云(例如猎户星云)都发明线光谱，表示它们是气体的结构。可是他用分光镜去考察仙女座大星云的时候，他很惊异地查出这星云像恒星一般，表现连续光谱。可是光线被棱镜分解以后极度微弱，不能使他看见这连续光谱上是不是间隔有明线或者暗线。这些光谱里特征细节的发现须等待 19 世纪末将照相的方法应用去研究这个问题的时候(第六章 § 44)。

哈根斯观测的结果已经表明星云应该分为迥然不同的两类：一类是具有明线光谱的绿色星云，是气体的结构；另一类是具有连续光谱的白色星云，可假定为恒星所组成的。第二类显然应该包括河外星系(“岛宇宙”)在内，自 18 世纪中叶以来这些星系虽然经人假定是存在的，但是问题仍然没有解决，待至 19 世纪末，还有许多天文学家以为银河系便是整个的宇宙。

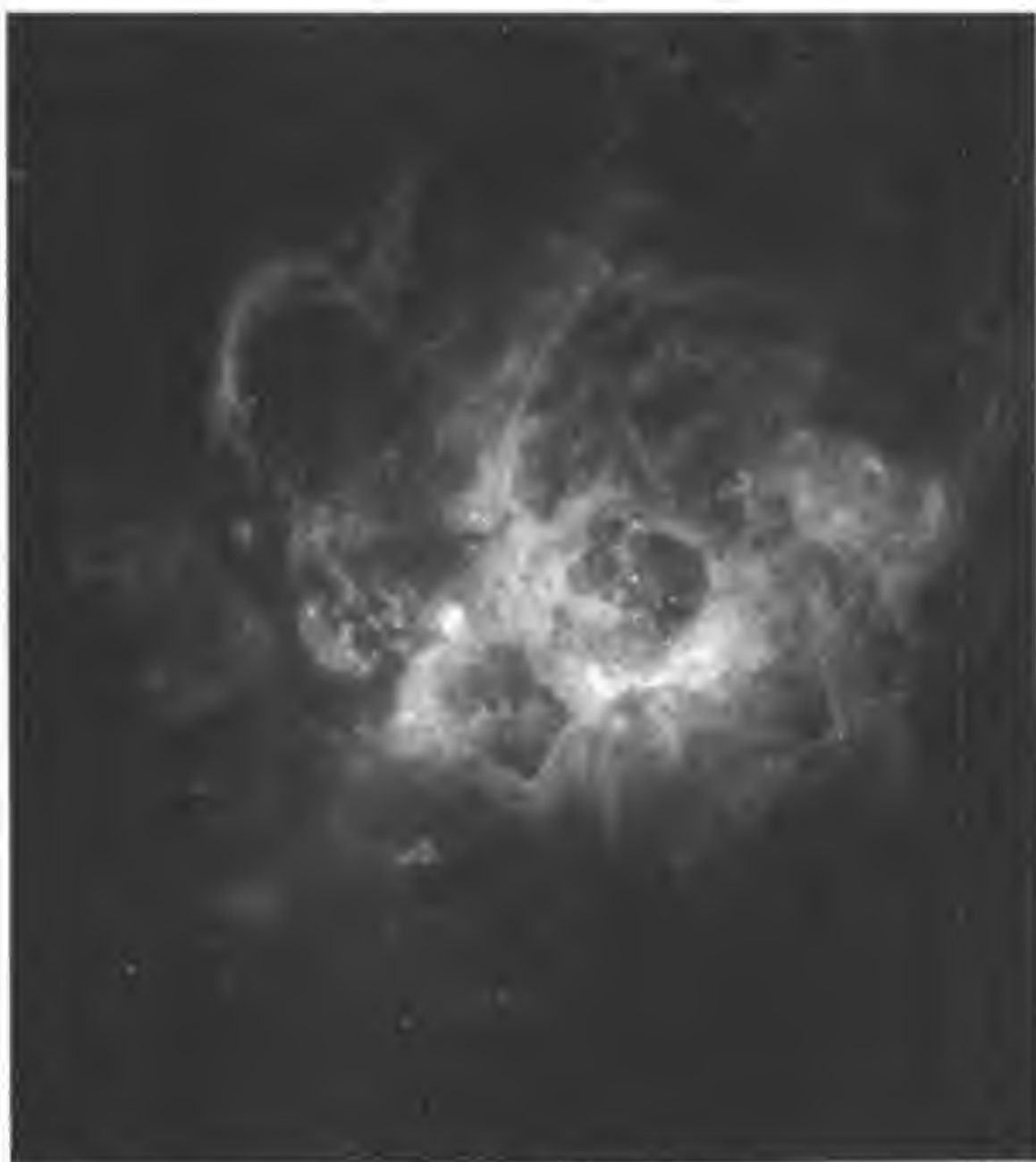
可是 1885 年，在仙女座星云的核心附近出现一颗“新星”，对于这种星云是恒星的构造，给予新的论证，但是这论证是薄弱的。因为我们也可假想这颗星的忽然变亮，是由它和气体物质的碰撞，恰如流星闯入地球大气而放光明一般，这便是 1892 年德国天文学家西利格尔(H. von Seeliger, 1849 ~ 1924)所提出的新星的理论。



螺旋星云

距离 450 光年,是行星状星云中最大和最近的。这类星云都有中心的恒星和扩散的环形气体。

实际上要等到应用照相术去研究星云的时候,星云的研究才有迅速的进步。眼睛在一瞬间所看不见的,便永远不会看见,可是照片在一秒钟或一分钟所不能感光的,可以延长露光时间至一小时或十小时



河外星系 M33 中的弥漫星云

它位于 M33 星系中的 NGC604, 直径可达 1 500 光年。在中心约有 200 多颗比太阳还大的恒星, 它们发射出的紫外光, 激发周围气体放射奇光异彩。

或更长的时间, 去使它感光, 得到星象的记录。

1880 年亨利·德腊珀尔首先拍摄到猎户星云的图像, 1881 与 1882 年所拍得的更好的照片便显现了当时最大望远镜里肉眼能看见的一切恒星。次年英国人孔芒 (A. A. Common, 1841 ~ 1903) 用 90 厘米口径的望远镜, 露光一小时, 获得更好的结果, 照片上有很多人眼完全看不见的星象。孔芒为了改进工作, 特地为照相机磨制了 150 厘米口径的反射镜, 虽然制成后用得很少, 但是为近代巨型照相反射镜, 作了一个示范的先例, 成为 20 世纪天体物理研究的必需设备。



星空中的翡翠 M27 星云

著名的行星状星云,状似哑铃,因而得名为哑铃星云,距离约 1 000 光年,在中心白矮星的紫外线照耀下发出特别美的翡翠般的光辉。

同时另外一位英国的天文爱好者罗伯尔茨(I. Roberts, 1829 ~ 1903)装置起一具口径 50 厘米的照相反射镜,自 1885 年开始拍摄了很多张星云和星团的照片,可以当做是近代星云研究的开始时期。他于 1886 年最初拍得的照片有猎户星云与昴星团里的星云气,比孔芒和亨利兄弟所拍得的更明显更大,1888 年在一张露光三小时的照片上显现出人眼完全看不见的仙女座大星云的旋涡结构。

自从那时以后,旋涡星云的照相研究继续发展,现在已成为天文

研究的一个重要分支。

毕生在爱尔兰工作[初为罗斯爵士的助手,继在当新克(Dunsink)和阿尔马格(Armagh)天文台工作]的英国天文学家德雷耶尔(J. L. E. Dreyer, 1852 ~ 1926)于 1888 年刊布一册星云和星团的《新总星表》(*New General Catalogue*),标志星云目视观测的经典时期已经过去,星云照相观测的近代时期正在开始。这个新的星表是在约翰·赫歇耳 1864 年所刊布的《总星表》(*General Catalogue*)上加以扩充,增添以后的发现,总共记载了星云星团 7 840 颗之多。在这一册星表之外更于 1895 与 1908 年增刊两册附篇(*Index Catalogues*),记载这类天体数目超过 13 000 颗。自那时以后 *N. G. C.* (通常这样略写)经公认为星云的标准星表,至今仍然被经常使用。*N. G. C.* 于 1954 年经英国皇家天文学会重印出版,表示出这本书虽在 50 多年以后,仍有它存在的价值。

总之,在 19 世纪后半期快结束的时候,研究宇宙的工具起了一次革命性的改进,展开了无限广阔的研究领域。于是不断的进步和惊人的成就迅速出现,直到今天还没有减缓速度。



第六章

20 世纪天体物理学的兴起与二战前 现代天文学的进展

1. 太阳系

38. 太阳的研究

这一时期的太阳研究开始于 1891 年,美国天文学家赫耳(G. E. Hale, 1868 ~ 1938)发明了“太阳分光照相机”。在这仪器上,可用由光缝选择的一条谱线的光拍摄日轮或它上面的日珥。同时一种类似的仪器名叫“分光速度记录仪”(spectro-enregistreur des vitesses)是法国天文学家德朗达尔(H. Deslandres, 1853 ~ 1948)制成的。使用这种仪器,可以在日轮的一系列弦线上观测谱线的隐现,于是可借多普勒效应,求出日面各处速度的分布。

这些仪器起初装在芝加哥赫耳的私人天文台里,以后迁移到他在 1896 年所建立的叶凯士天文台去。法国人德朗达尔把这些仪器装置在默东天文台,历经半个世纪,这些仪器一直是研究太阳的重要工具。

这些观测太阳的方法不但可以使我们看见太阳边沿上的日珥,而且可以发现太阳表面的特征结构。太阳上面的发光云(特别是钙和氢)形成一种不规则的网状结构,赫耳把它们叫做谱斑(floculi),在黑

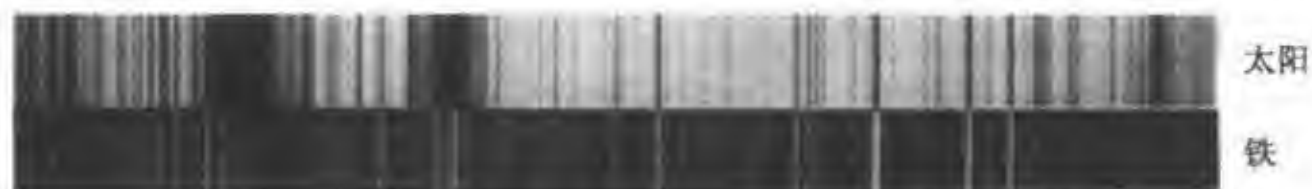
子和光斑上特别密集,并在其附近形成德朗达尔称做的“光斑区”(plages faculaires)的区域,它们的数目和大小随太阳活动而有变化。如果适当地选择宽谱线的各部分(例如钙的 K 谱线),我们可以将太阳的大气,从反变层以至色球高层逐层加以细致的分析。这样拍得的照片里表现黑暗的“条纹”,经人证明是日珥投影在日轮上的形象。这些条纹在日轮上的分布图,默东天文台按月刊印公布。

研究太阳的工作逐渐表现出它的重要性。赫耳得到华盛顿卡匿齐学院的支持,于 1905 年建修一所很大的天文台。这所天文台建筑在南加利福尼亚州的威尔逊山上,起初专门研究太阳,后来逐渐发展成为现今最大而又最有名的天文台。赫耳和他的同事亚当斯(W. S. Adams, 1876 ~ 1956)和圣约翰(Ch. St. John, 1857 ~ 1935)与光谱学家金(A. S. King)的工作使得人们对太阳的知识得到很大的进展。1905 年由黑子的光谱和实验室里电弧或电炉光谱的比较,他们得知黑子里有氧化钛和各种分子(氧化物、氢化物等),并且证明黑子里的温度比它周围的光球的温度要低一些。

1906 年亚当斯用分光的方法对太阳的自转作了系统的研究,这工作始创于沃格耳,1891 年更经瑞典天文学家当内尔推广到两极区域。这些研究证明太阳自转的角速度随纬度增高而变缓,这现象经卡伦顿最早在黑子区域里发现(第五章 § 33),现今我们更明白在两极也是继续变缓,那里太阳的自转周期超过一个月(在赤道上有 25 日)。自从那时以后,这样的测量,每年在威尔逊山和别的天文台都重复地做下去。

1908 年赫耳在他用 H - Alpha 红色光所拍得的单色光太阳摄影图上,看见黑子周围有旋涡的形象(常是很确定的),他把它叫做“日面旋涡”。这现象在一对黑子附近出现的时候,很像蹄形磁铁附近的铁屑的分布情况,于是赫耳想到黑子可能具有强的磁场。1896 年荷兰物理学家塞曼(P. Zeeman, 1865 ~ 1943)观察到当光源在强磁场之内的时候,它的发射谱线分裂为几条。因这效应而来的谱线分裂的成分之间的距离和磁场强度成正比例,所以我们借塞曼效应,可以使用光学的方法去测量使谱线裂开的磁场强度。

1908 年赫耳使用大色散的摄谱仪,研究黑子的特别宽的谱线,查出这些谱线具有表现塞曼效应的很接近的成分。他不但说明黑子具



太阳光谱和铁弧光谱的比较(近紫外区)

我们看见太阳的夫琅和费谱线(太阳光谱内的黑线)有许多条和铁的特征明线相重合,所以铁存在于太阳的大气中

有强的磁场,而且可以测量这磁场的强度,常达几千高斯^①之巨。他认为这磁场的成因是太阳大气里带电质点(离子与电子)的旋涡运动,但是至今还没有确切的理论去说明这个现象。^②

赫耳在他的研究过程里,注意到塞曼效应也表现在单个黑子前后的光斑区域内,因此他断定在这些光斑下面有未完全形成因而不能直接观测到的黑子。一般说来黑子可以看做是成对形成的,赫耳更观测到每一对黑子具有相异的磁极,因而说明这一对旋涡运动也常是在相异的转动方向上,这个观测对于日面现象的理论是很重要的。

自从那时以后,威尔逊山天文台对黑子的磁极做经常的测定。在研究的过程里,发现一个与太阳活动的周期有关的规律,综合表现在斯波勒尔的定律内(第四章 § 31)。例如如果在一定的时候,一个“双极群”的头黑子是磁北极的,而且位置在太阳的北半球上面,那么南半球有同极性的一群黑子便是在尾黑子上,换句话说即黑子群的磁极在两半球上是相反的。这关系在太阳活动的一周期里黑子向赤道发展的过程中,经常是维持着的。可是当太阳活动达到极小,第二周的黑子初出现在高纬度的时候,两半球上的黑子的磁极都逆转了,现在是北半球的尾黑子和南半球的黑子才有磁北极,这样的磁极性维持在这一周内,到次一周开始再行改变(图 20)。自 1913 年以来,这种在太阳活动极小时磁极性的改变,总是得到证实,所以赫耳和亚当斯于 1919 年指出太阳活动的真正周期不是 11 年而是 22 年(当 1923 年的效应重新出现以后,这结论于 1925 年更是明显),具有同磁性的黑子只在这 22 年的周期以后才重新出现。这个观测对于黑子起源的理论有很重要的意义。

① 高斯(gauss)是测量磁场强度的一种单位,即在磁场内一点放置单位磁极所受的磁力为一达因时的磁场强度。——译注

② 我们已经明白“日面旋涡”不是磁场的旋涡运动的表现。

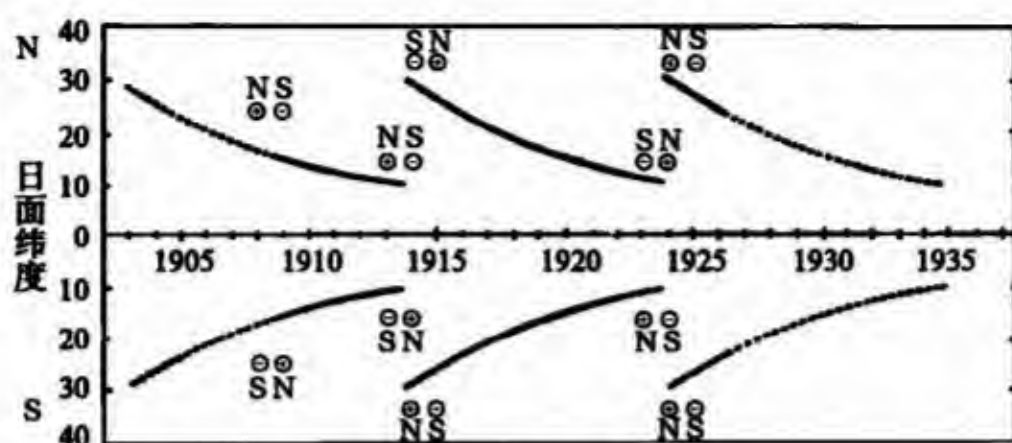
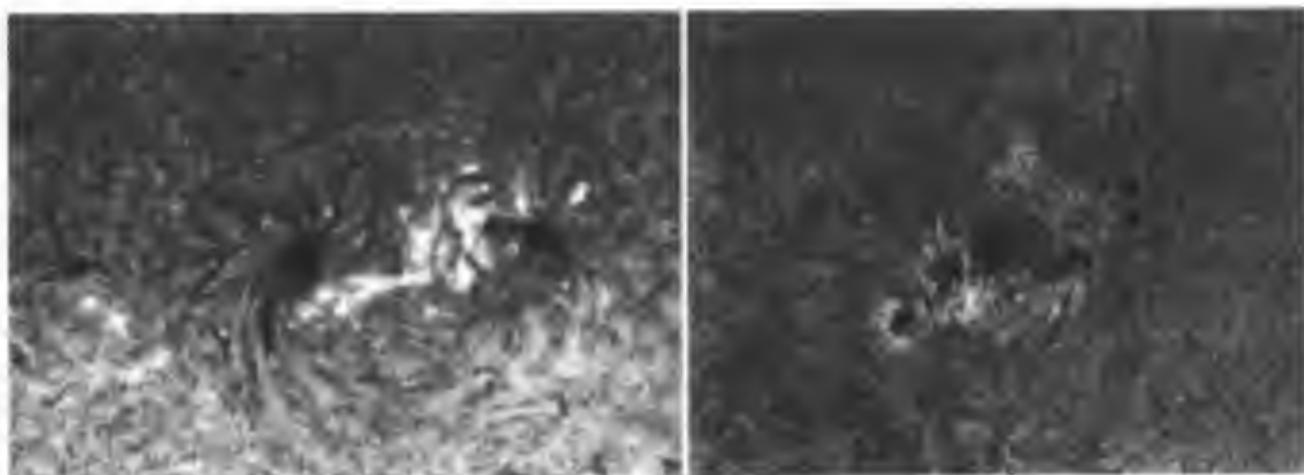


图 20 黑子的磁力双极性(赫耳与亚当斯, 1926)

在活动的周期里黑子的平均纬度的变化和斯波勒尔定律, 一并表示在图中



黑子群附近的色球结构(日面旋涡)

用 H_α 谱线拍摄。左图: 1926 年 9 月 20 日用太阳单色光照象镜拍摄, 右图: 1946 年 8 月 25 日用单色滤光器拍摄。

解释这些新结果的理论旋即于 1926 年为挪威物理学家杰克内斯(V. Bjerknes)所提出。他说黑子是光球下面浅处的环式旋涡的表现, 当这些环圈出现在可见的光球面, 形成异向的旋涡运动的时候, 黑子出现, 这样就可以解说双极群的磁性; 再假设这些环圈在两半球上是成对的, 循相反的方向旋转, 在 22 年的周期里缓慢地转动一周, 于是杰克内斯说明了斯波勒尔定律和当太阳活动极小时磁性改变的现象。这些看法现今已有一部分被人放弃, 经瑞典物理学家阿尔芬(H. Alfvén)代替以磁性为主要因素的复杂理论, 可是至今还没有一个足以说明太阳现象的理论, 是大家所公认的。

黑子磁场发现以后不久, 赫耳开始研究太阳上如地球上那样的普

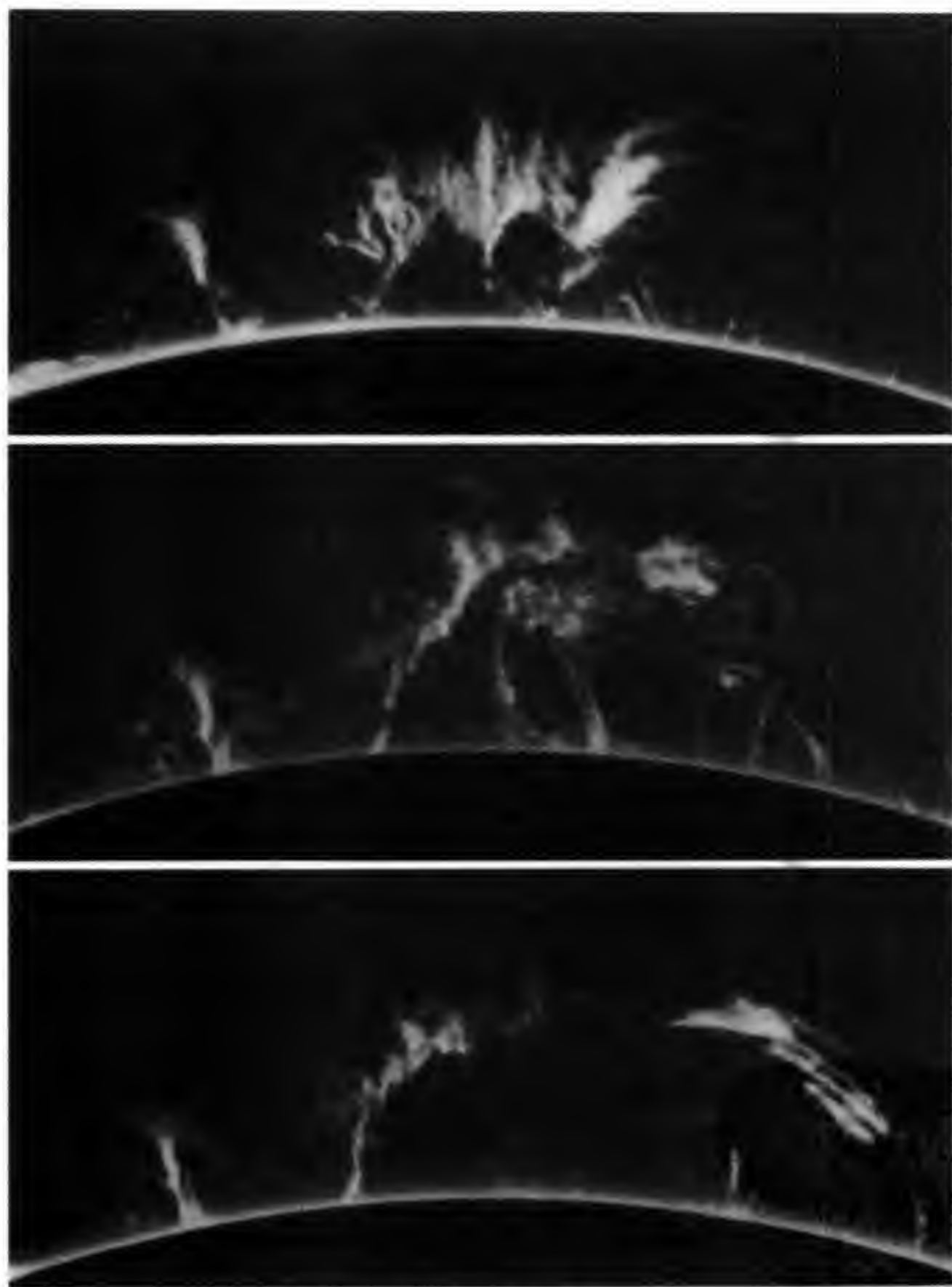
遍磁场的问题。这种普遍磁场比黑子磁场一定弱得多,不能形成谱线的分裂,只是把谱线稍微变宽罢了,但是因为还有许多因素可以使谱线变宽,所以这个效应是难于从观测去发现的。1918年赫耳以为太阳的普遍磁场实在是有的,在两极的强度大约是50高斯(地球的磁场大约是0.5高斯)。这结果经过很大的困难才求得,经过1/4个世纪在这问题上没有人做出成绩来。

与赫耳的研究同时进行的有对黑子光谱的详细分析,由是发现黑子结构的特征。1909年英国天文学家爱维谢德(J. Evershed)观测太阳边沿处的黑子的光谱,注意到这些谱线有多普勒效应的偏移,由此表明在每颗黑子的两边有异向的视向速度。这些观测经圣约翰在威尔逊山继续进行,得到了证实,他于1913年对黑子周围和上面的气体的运动加以适当的说明。他说气体从反变层下面脱离黑子而外逸,再从色球的高层坠落下来。这些结果经意大利天文学家阿贝蒂(G. Abetti)于1926~1930年间加以发展和推广。

和黑子相关的还有另外一种效应,赫耳曾经努力观测,以后在太阳物理上占有重要的地位,这是色球的耀斑(chromospheric flares)。早在1859年卡伦顿已经观测到这个现象,那年9月1日,他将黑子作经常观测的时候,看见两个异常明亮的区域出现在一群黑子里,它们远远超过光球的亮度,正在迅速的运动中,离开出现之点5万千米,仅经历了5分钟便消逝了。这个惊人的现象同时也被另外一位英国的天文爱好者霍格森(R. Hodgson)观测到了。与此现象同时发生的有强烈的地磁扰动,在18小时以后更发生异常强烈而持久的磁暴,同时电报通讯受阻,而且出现很美丽的极光。正如一位英国天文学家所说的,这是太阳第一次对我们“作了表演”。

同样的现象到了19世纪末才再度被人看见,所以这个现象未能引起科学家的注意,好像是被人遗忘了一样。1892年又有同样的爆发出,赫耳第一次拍得它的单色光的照片。1908年另外一次耀斑经福克斯和阿贝蒂在叶凯士天文台记录下来。1926年达臧毕扎(L. d'Azambuja)在默东天文台也观测到一次耀斑。到那时候所做的这一些观测都是凭偶然的机遇,这现象的罕见,宁可说是因为它出现时间的短暂,而不是由于它本身出现的稀少。

为着校核这一种见解的正确性,赫耳完成一个新仪器“太阳分光镜”,用作太阳单色象的目视观测,这样,人们便容易对色球现象做经



一个日珥演变的三个形象

1937 年 4 月 12 日李约所拍的活动影片。发光的物质沿着一定的轨迹,逐渐流到光球上去(8 时 36 分,13 时 04 分,13 时 28 分拍摄)。

常的和连续的观测。为着对太阳做这一种观测,1932年成立一个使用太阳分光镜观测的国际组织。从那时候开始,观测到的太阳耀斑继续增多,人们才明白这是一种很普通的太阳现象,因为据现在的统计,每天日面上要出现十几枚之多(至少在太阳活动极大期是这样的)。

在最近20年内对太阳活动的研究进展迅速,这使我们明白太阳对地面现象的影响,主要是由于耀斑。我们也了解随耀斑出现而来的电磁扰动是由于太阳发出强烈的紫外辐射,使得地球大气的高层发生异常强烈的电离现象。

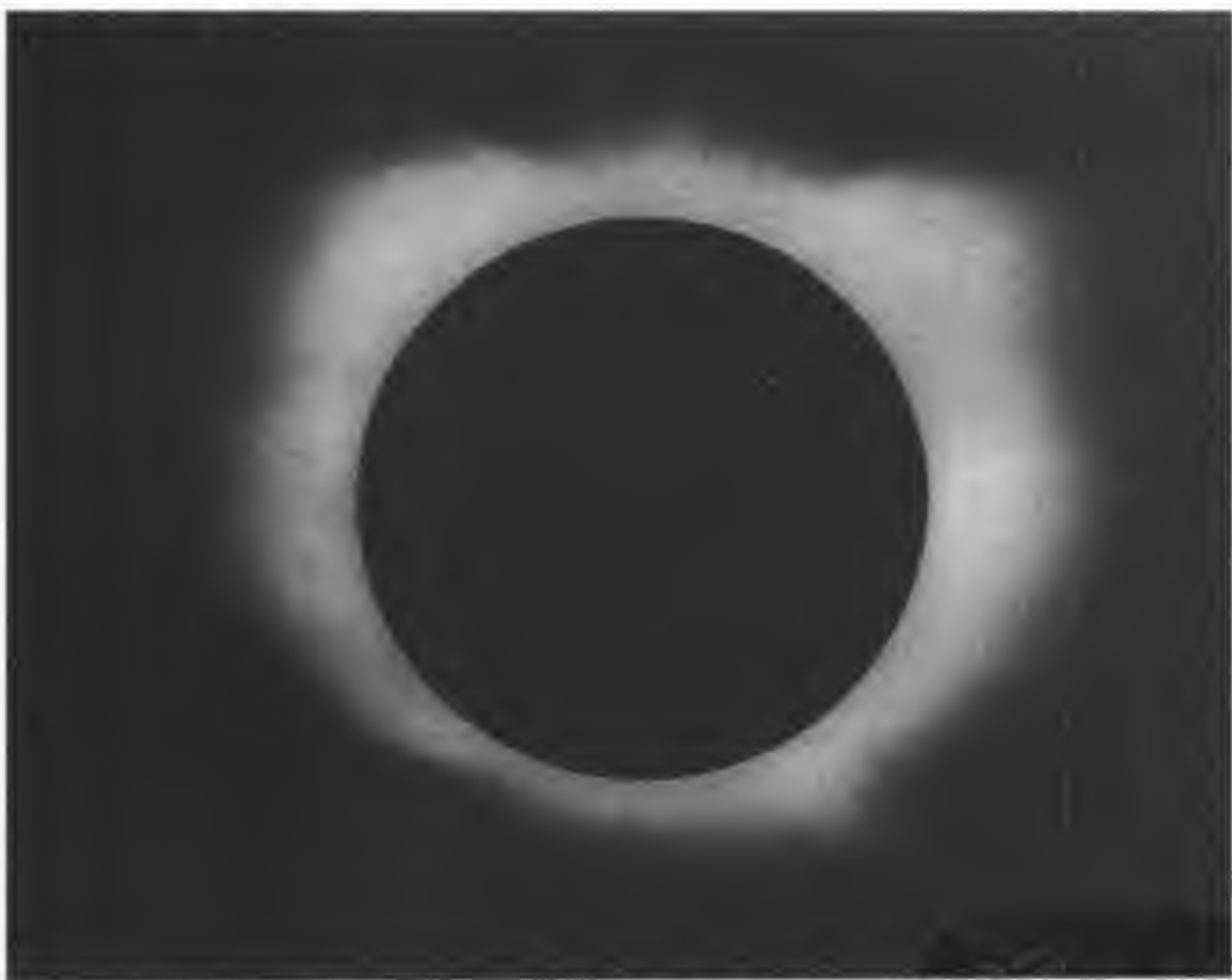
对日珥的连续观测和精密测量以及用太阳分光仪对日珥移动的研究,大大推进了我们对日珥的认识。最显著的结果当推威尔逊山白提(E. Pettit)所得的。他于1925年宣布日珥的垂直运动遵循两个定律:1.爆发日珥的上升速度有时骤然改变;2.继起的速度常为初速度的整倍数。这两个定律很难加以证明,因此受到严厉的批评,特别是第二律,没有得到以后工作者的证明。白提还将日珥分为不同的几类,即活跃的、爆发的、斑点的、旋风式的,以及静息的,等等。最壮观的日珥是爆发日珥,有时它像以很大的速度飞离日面,间或超过了太阳面的脱离速度(720千米/秒),消逝在星际的空间。

这些气团的平衡机制和能量来源,我们还很不明白。可是对太阳的高层大气的研究,在近20年内,因有一种新发明的仪器,使它得到相当大的进展,我们将在下面叙述。

自从发明了用分光的方法在白昼里观测日珥和日冕的绿色谱线以后,有几位天文学家想寻找一个方法,在非全食的时候去观测日冕。经过半个多世纪的研究,没有得到成功,这问题已经搁置起来,直到1930年法国天文学家李约(B. Lyot, 1897 ~ 1952)发明了“日冕仪”,这一问题才得到了解决。李约的成功是由于他认识到:白昼不能看见日冕的主要障碍,不像他以前的人所想像的是由于地球大气的散光(蓝色天穹),而是由于从一般天文物镜而来的更强的散光。因此李约磨制一具光学性能很高的物镜,所用的玻璃、材料的均匀和磨光的彻底,都很理想,而且更重要的是使这物镜避免有丝毫的灰尘。李约把他的仪器装置在比利牛斯山海拔2940米的日中峰天文台内,于1930年首先在日冕的绿色谱线之外拍得内日冕最亮部分的照片。自从那时以后日冕仪得到改进,现今在法国、瑞士、美国等高山天文台里多装置有这样的仪器。因为不须限于日全食罕见的短暂的时间里去做观测,因此

日冕的研究得到迅速的进步。^① 我们因而也就能够对日冕的光谱作出仔细的研究,如精密地测定它的谱线的波长等。

由于这些观测和分光学的进步,瑞典分光学家埃德伦(B. Edlen)于 1941 年解释了长期存在的关于“氮”的谜(第六章 § 33),说明了氮谱线的来源。这些谱线实际是铁、镍和钙等原子在高度电离下(失掉 12 至 14 个外层电子)时的“禁戒”辐射。这种高度电离的状态表明日冕里的温度很高,达到百万度的数量级,这结果虽与别的论点相合,但还是难于理解的。



1914 年 8 月 21 日日食

太阳活动衰期的日冕,在太阳的赤道方向伸长,刷毛状光芒在极区射出。

日全食的观测仍然是很重要的,不只是因为研究外层日冕,而且是要校验普遍相对论所预测的一种重要效应,即太阳引力场使星光偏折的效应。有名的物理学家爱因斯坦(Albert Einstein, 1879 ~ 1955)根

^① 另外一个进步便是使用拍摄电影的方法去做观测,因而以高速表现日珥的运动。这使我们了解在太阳大气里活动着的伟大力量,引起我们在这方面需要探讨的许多问题。

据他的特殊相对论于 1905 年预言光线应在引力场里偏折,更于 1915 年根据他的普遍相对论推出偏折度在太阳的边沿应该是 $1''.75$,可是根据牛顿的定律,这种偏折度只是以上的数字的一半。

要在太阳的旁边拍摄出恒星的照片,惟一的机会是在日全食的时候。

对这效应的第一次观测,是 1919 年爱丁顿(A. S. Eddington, 1882 ~ 1944)领导的日食观测队所作的。将日食时在太阳周围所拍摄的恒星的位置和黑夜太阳离开时拍得同一组星的位置加以比较,证明光线的偏折度(根据测量得 $1''.64$)和爱因斯坦所预推的数字很是接近。

同样的观测 1922 年德国日食观测队也曾做过,亦证实以上的结果,只是比预测的数字偏大了一些。自从那时以后,在日食观测里总有这一项目。最近的结果是 1947 年叶凯士天文台远征队领队人万·比斯布罗克(G. van Biesbroeck)所获得的,数字是 $2''.01$,如果我们考虑到这种细致的测量里有其不可避免的误差,我们应该承认这数字完全证实了爱因斯坦的预测。

以后我们还要谈到别的观测对于相对论的天文效应,提供更精确得多的校验。

39. 行星与卫星的研究

天文学家多年来便想用天体物理学的方法去研究月亮与行星。19 世纪末月亮研究的趋势是使用照相的方法去编制月面的详图。最大的月面图有二:一个是 1890 年以来美国天文学家霍耳顿(E. S. Holden, 1846 ~ 1914)所刊印的,他是用里克天文台 90 厘米折射镜所作成的;另一个是 1894 年以来法国天文学家洛维(M. Loewy, 1833 ~ 1907)和皮伊瑟(P. Puiseux, 1855 ~ 1928)所刊印的,他们用巴黎天文台 60 厘米肘形照相望远镜所作成的。

这工作为月面的详细研究提供客观的资料,并且为月面特征的起源奠定了理论的基础。月面成因的理论主要有列三种:1. 因内部气体的作用,月面先膨胀而后溃裂说;2. 内部岩浆透过月亮的裂缝而喷出说;3. 陨石轰击说。但是这些理论没有一个经人公认。

对月亮作过天体物理研究的很少。有一种研究是法国天文学家李约于 1922 至 1927 年间在默东天文台所作的,那是测定从月面反射而来的光的偏振度,结论是月面盖有一层类似火山灰的尘埃。



月球南极有水吗？从这张 1994 年拍摄的月球南极照片上发现中央黑色区域可能是冰湖。1998 年再次深入探测，还没有确切答案。

另外一种研究是美国天文学家白提与尼科尔森(S. B. Nicholson)自 1927 年在威尔逊山所作的，他们估计月面暴露在日光下几天之后，温度可达 100°C 。

1921 年法国天文学家当容(A. Danjon)将 19 世纪所积累的月食观测资料，作了系统的研究，说明被食的月面的亮度与颜色，都随月食时黑子在活动周期里的周相(phase)而有系统的变化。在太阳活动极小期以后，被食月面常很黑暗，下一次极小期之前常很明亮。这种变化以后得到光度测量的证实，也许这是由于太阳活动对地球高层大气的某种影响而来的。

斯基帕雷利对火星作了划时代的研究以后，人们便很注意这颗行

星。在斯基帕雷利以后,对火星研究作出很大努力的有美国天文学家洛韦耳与皮克林和法国天文爱好者昂通尼亚迪(E. M. Antoniadi, 1870 ~ 1944)与雅里-德洛日(R. Jarry-Desloges, 1868 ~ 1951)。

1894年洛韦耳在亚利桑纳州的旗竿镇建修一座专门研究火星的天文台,他发现了火星上更多的运河,而且根据这一现象总结说这些网状的几何图形是一种人为的结构,那是为贮蓄和利用这个很干燥的行星上的水源而修造的。换句话说洛韦耳相信火星上可能有与地球上相比拟的人类和文化。

洛韦耳的结论自然引起很多群众的兴趣,但是有些天文学家却坚决反对这种看法,特别是昂通尼亚迪,他自1909年以来用默东天文台80厘米口径的大望远镜作了很多的观测,坚决地主张洛韦耳所说的网线实际上是不存在的。昂通尼亚迪说:这些线条只是火星表面上无规则的天然结构在人眼里形成的光学幻影。但是昂通尼亚迪的结论又经洛韦耳的承继人反驳,例如斯利弗尔(E. C. Slipher)曾多次谈到洛韦耳天文台所做的目视观测完全被照相观测所证实。

自1905至1907年以来,洛韦耳和他的合作者兰普兰德(C. O. Lampland, 1873 ~ 1951)与斯利弗尔拍到相当详细的行星(特别是火星)表面的照片。可是我们该说明这些照片直到今天还很模糊,不能达到目视观测有时可以查出的细节。

但是自1941年以来,李约与他的同僚在日中峰天文台拍得更清楚的照片,虽然还不能超过目视观测,但是照片上所表现的细节足使我们对行星作客观的研究。

可是在另一方面,照相术提供了重要的结果,因为它用各种颜色的光,甚至用人眼看不见的紫外光或红外光去拍摄了行星表面的形象。

这方面初期的研究在1909年有俄国天文学家季可夫(G. A. Tikhov)在普耳科沃天文台,还有法国天文学家博姆·普吕维内耳(Ade la Baume-Pluvinel, 1860 ~ 1938)与巴耳代(F. Baldet)在日中峰天文台进行着。1911年美国物理学家伍德(R. W. Wood, 1868 ~ 1955)首先用紫外光拍摄月亮与行星。但是这些方法要到1924年以后为美国天文学家赖特(W. H. Wright)与1926年光学家罗斯(F. E. Ross)在威尔逊山天文台加以发展。

这些照片表现出许多特点,例如金星上的黑斑,是人眼所看不见的,在紫外光的照片上却特别明显,可是在火星的紫色和紫外光照片



“地球使者”在火星上

1976 年和 1997 年,地球派出的使者“海盗”号和“火星探路者”先后到达火星,着陆考查,拍摄了异常清晰的火星表面照片,表明火星上有许多岩石和地球上常见的石英、长石相似。从许多照片上分析,科学家认为在若干亿年前,火星上曾遭受过大洪水的袭击。

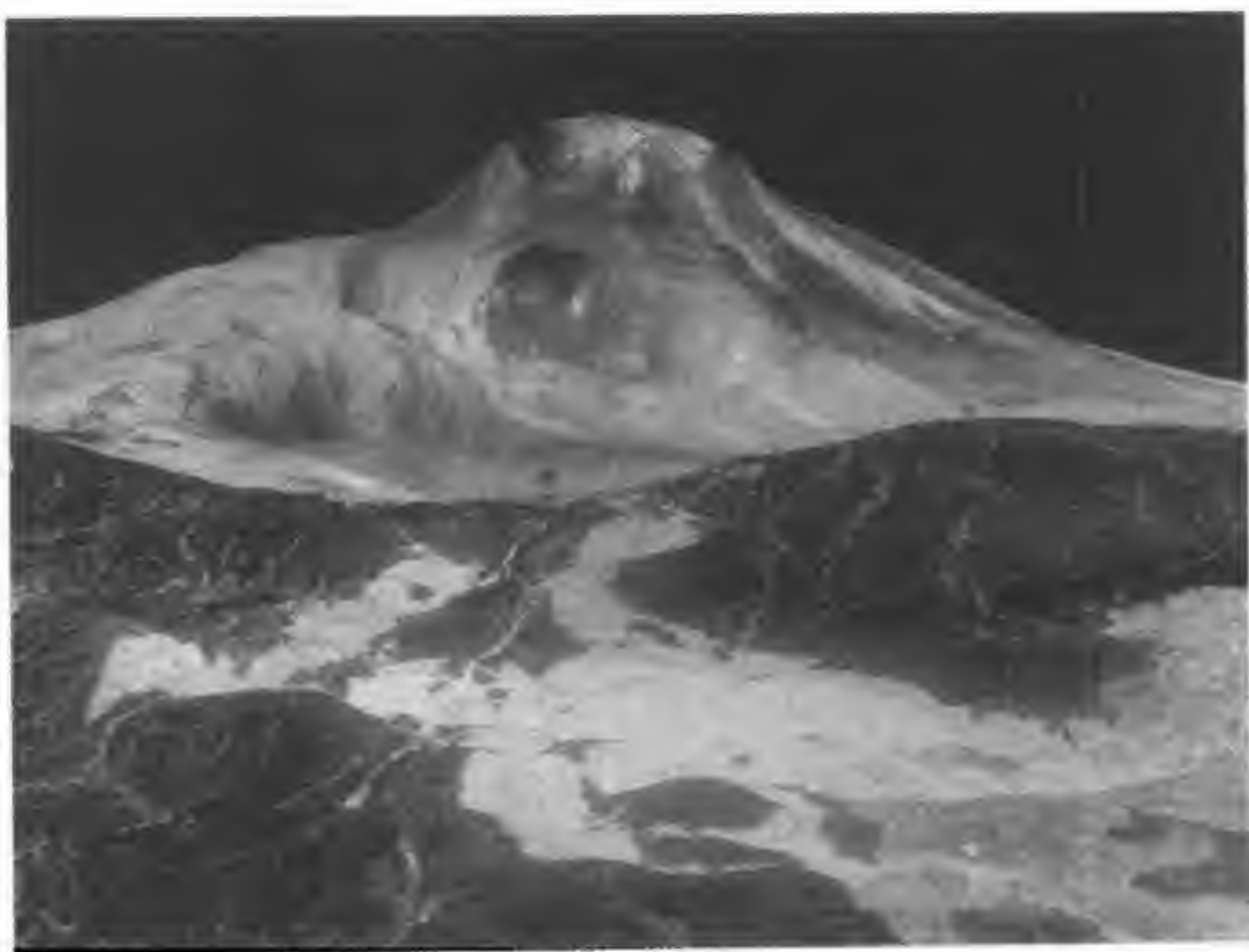
上,人眼所看得见的细节,却在不透明的大气的幕罩下,看不见了。这幕罩的性质现在还不明白。木、土二大行星的单色光照片按它们各区域的颜色也表现出重要的差别,虽然这些差别是不很显著的。

从这个时期(1924)以后,天文学家才广泛地使用物理的方法去研究行星。

1922 至 1928 年间,李约在默东天文台对行星的光系统地作了偏振的测量,但是行星反射的光偏振的成分,一般依靠许多因素,要从这些测量的数据去判断反射层的性质是不可能的。

在这一个题目上提供明白的知识的当推分光。行星分光的详细研究于 1905 年经斯里弗尔(V. M. Slipher)在洛韦耳天文台开始进行,自 1922 年以后,尼科耳森在威尔逊山以更大的仪器继续研究。这些观测表明大行星和金星的光谱里有极强的吸收光带,最强的几带在红外区域内。

直到 1931 年,美国天体物理学家亚当斯和当哈姆(Th Dunham)才



明亮的金星

金星的自然环境对生命来说异常险恶,温度接近 500°C ,那里酸雨不断,雷电频繁

证实金星的红外吸收光带是由一层二氧化碳造成的,同年德国天文学家维耳特(R. Wildt)在哥廷根将大行星的光谱里的吸收光带证实为是由甲烷(沼气)和氨造成的。这些认识使我们对大行星的内部构造和它们的大气成分的见解,发生了基本的改变。

至于在火星的光谱里,我们没有从它的特征的吸收带里得出决定性的证实,虽然自 1926 年以来,威尔逊山的天文工作者作了很多的努力去证明识别氧气和水汽。由 1933 至 1937 几年的反复工作,亚当斯和当哈姆断定火星大气里氧和水汽的含量,不会超过地球的等面积上的含量的几千分之一。这结论说明火星有高级形式的生命的可能性是很小的。

近几十年来还有另外一种研究方法,对行星物理的认识作出重要的贡献,这就是使用温差电偶去研究行星的红外光谱。这工作是 1922 年首先由美国物理学家科布伦兹(W. W. Coblentz)在洛韦耳天文台开始的。这方法是使行星的辐射经大型望远镜聚焦在温差电偶的细小

而异常灵敏的接头处,利用各种滤光器(如玻璃、萤石、水槽等)吸收红外区域的各个部分,可以估计行星自身的热辐射里所有各种成分的分量,而和反射的日光分开。于是更可估计行星表面的辐射温度。1924 年以来行星的温度就是这样被直接加以测定的,在这方面作出贡献的人有洛韦耳天文台的科布伦兹、兰普兰德、门泽耳(D. H. Menzel)和威尔逊山的白提与尼科尔森。



满布坑穴的水星

最接近太阳的行星,从 1974 年发射的“水手”10 号探测器近拍照片中看到它是一段满布坑穴的行星,很像月球,但比月球的陨石坑还要多,而且陨石坑比较小。

这些测量的结果与根据行星到太阳的距离所算得的理论数值基本上是相合的。行星的表面温度从常以半球面对着太阳的水星的正几百度,到最远的行星的 -200°C 。中间的温度有金星向日面的 $+50^{\circ}\text{C}$,火星上的温度按季节与区域可由 -70°C 变化到 $+30^{\circ}\text{C}$,木星上约为 -140°C ,土星上为 -160°C 。

在这些结果的基础上,许多天体物理学家(特别是维耳特),建立



从地球上，金星是日月以外最亮的天体。“麦哲伦”号探测器用了4年才描绘出金星较完整的图像。

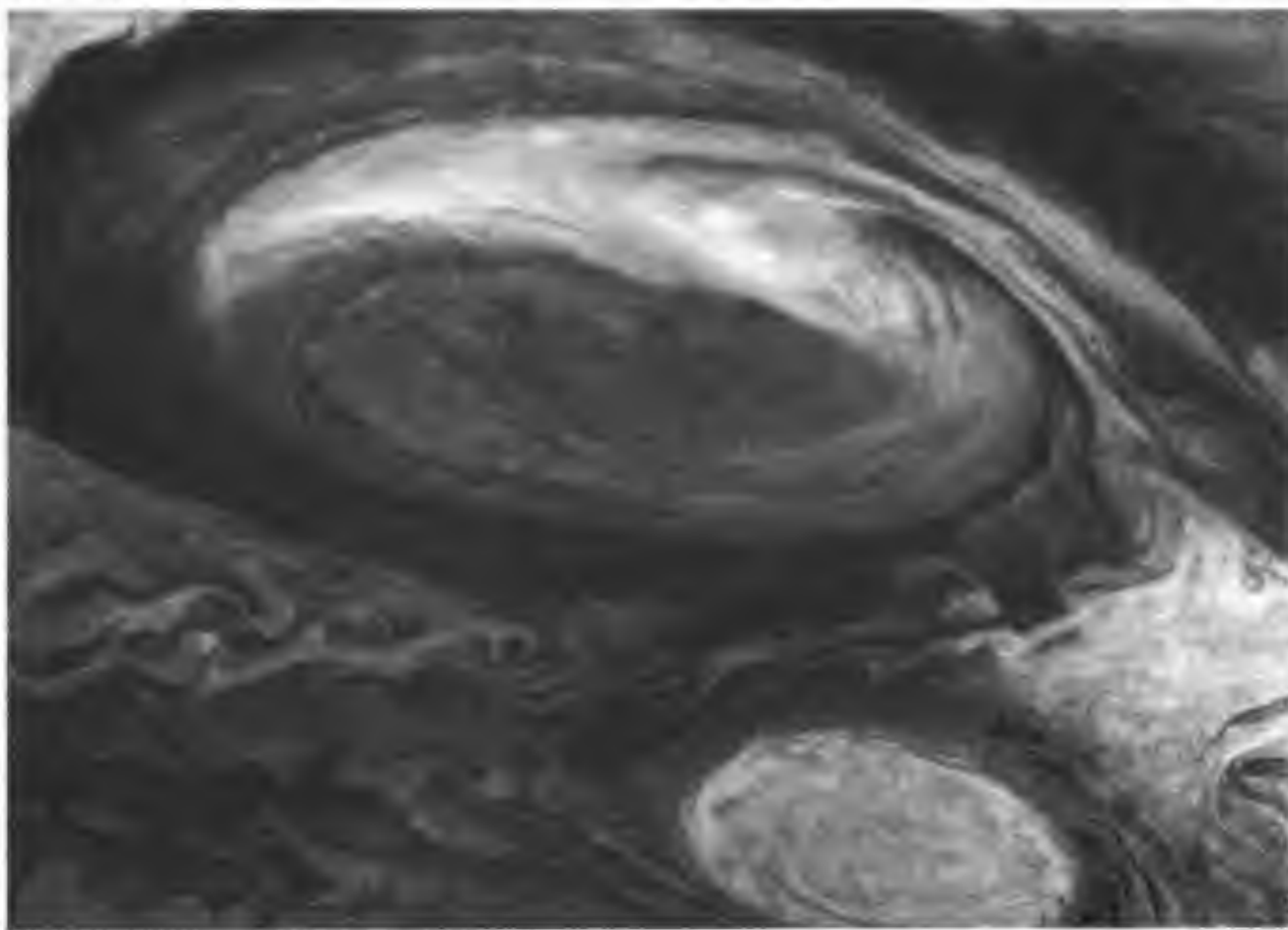
了行星表面构造的理论，大行星如木、土、天王和海王几颗行星表面主要是一层冰壳，周围有液化和压缩的气体所形成的海洋，上面盖着氮和氦组成的大气，并且飘荡着这些元素液化或固化的浮云，这样就造成了这些行星光谱上的光带。

至于金星，还没有人提出适当的假设去解释它大气上面的云彩。大家都承认火星上稀薄大气主要是氮和少量的二氧化碳与氩。水星因其质量小，可能因分子逃散到空间，失去了它的大气，^① 根据同样的理由，大多数卫星上面也没有大气，这是英国天体物理学家斯东内(G. J. Stoney, 1826 ~ 1911)首先根据气体动力理论推得，继后经秦斯(J. Jeans, 1877 ~ 1946)确切算出，刊布于1916年。这些结论在最近十年内经柯伊伯(G. P. Kuiper)在麦克当纳天文台对许多卫星所作的分光观测

^① 这一理论的结果还不能确定，因为观测者(如昂通尼亚迪)对水星有时发现暗影，1950年末多耳甫斯(A. Dollfus)更宣布说由他在日中峰对水星作偏振的测量，发现它上面有很稀薄的大气。

中得到证实(第七章 § 48)。

卫星 自 19 世纪末以来,因使用照相的方法,行星的卫星的数目增加得很多。木卫 V 是由美国天文学家巴纳德(E. E. Barnard, 1857 ~ 1923)于 1892 年发现的,这是用目视观测发现的最后一颗卫星。土卫 IX 于 1898 年由皮克林(W. H. Pickering, 1858 ~ 1938)发现,这是用照相的方法发现的第一颗卫星。木星的另外两颗卫星(木卫 VI 和 VII)是于 1904 至 1905 年间由白里恩(C. D. Perrine, 1868 ~ 1951)在里克天文台发现的;木卫 VIII 于 1908 年由默洛特(P. Melotte)在格林尼治天文台发现;木卫 IX 于 1914 年由尼科尔森在威尔逊山发现。这以后经过 30 年没有人发现一颗卫星,直到 1938 年尼科耳森仍在威尔逊山发现木星的另外两颗卫星(木卫 X 和 XI),最近十年内还发现另外几颗卫星(第七章 § 48)^①。



木星的大红斑

三四百年来,它一直是望远镜观测的重要目标,一直没有消失过。1979 年“旅行者”1 号探测器从近处拍下了这张清晰照片,它是木星大气的强大旋涡,足能装得下几个地球!它的大小和颜色也有变化。

^① 在大行星处发现小卫星的消息已经不能像 100 或 150 年前那样使天文学界兴奋了。

小行星 1891年由于德国天文学家沃耳夫(Max Wolf, 1863 ~ 1932)开始系统地使用照相方法去寻找小行星,于是小行星被人发现的数目大大地增加,这些小天体经人研究过轨道的,现今已经超过1 600颗之多。自1891年以来所发现的小行星,有些很有趣,因为它们的轨道超出小行星经常运行的范围之外,有些比木星距离太阳还远,有些比火星距离太阳还近。在这后一类里有一颗名叫爱神星(Eros)的,是1898年德国天文学家威特(G. Witt)发现的,这颗小行星和地球最接近的时候还不到2 400万千米,于是成为测量太阳视差的最好的对象(第六章 § 41)。

最后还须提到有一颗大行星(冥王星)于1930年1月21日被美国人汤包(C. Tombaugh)用照相的方法在洛韦耳天文台发现。这一发现是洛韦耳天文台对海王星轨道外的大行星作系统搜索的最高成就。早在1915年洛韦耳已经根据天王和海王两行星运动上未能解说的残余摄动,说明有这一颗大行星的存在。这些残余摄动很是微小,不能用作像发现海王星那样的计算,但是却足够大略地指出应该在天空中某一区域去寻找这颗未知的行星。洛韦耳的结果后来又于1919年得到W. H. 皮克林的证实,但是那时的寻找却没有成功,直到后来沿着整个黄道带作系统的拍照,才使汤包发现这颗寻觅很久的行星。^①

40. 彗星与流星的研究

我们一经能使用照相的方法对彗星作光谱分析的时候,关于彗星的物理知识便得到迅速的进步。在这一方面我们须提到法国天文学家巴耳代于1907年首先使用物端棱镜法来拍摄彗星的光谱。这以前用狭缝光谱仪只能拍得彗核附近明亮部分的光谱,使用物端棱镜,虽然牺牲了色散度,但可以拍摄整个彗星从头到尾所发出的各个波长的单色照片。于是我们发现彗头发发出碳、氰和碳氢化合物的中性分子光带之外,彗尾还发出电离二氧化碳和电离氮的分子光带。

可是在近些年代里,狭缝光谱仪再次为人使用来对彗头与彗核的

^① 我们该提说一下冥王星的实际情况与预料很不相同。冥王星绝不是像天王星和海王星那样大的行星,而却像是火星那样小的行星(第七章 § 48)。它的轨道不但很椭圆,而且和黄道的交角也很大。这些料不到的特性,在太阳系起源的理论上,将引起大大的困难。

光作仔细的研究。自 1940 年以来经比利时天体物理学家斯温斯(P. Swings)和在美国工作的德国物理学家赫兹白格(G. Herzberg)以及别的分光学家研究,许多新的发射光带经人证识出来,特别是从 OH, NH₂, CH₂ 等基(radicals)而来的。这些发现使我们了解彗尾内的气体被日光驱逐的机制,也促进了彗核组成的现代理论。

自英国物理学家麦克斯韦建立了光的电磁理论之后,意大利物理学家巴多里(Bartoli)于 1883 年说明光线在吸收它的物体上应该有一种压力。1892 年俄国物理学家列比杰夫(Lebedeff)说明在小的质点上光线的驱力当远远超过万有引力,而且他于 1900 年由实验证明这效应实在是存在的。瑞典物理学家阿尔亨尼斯(S. Arrhenius, 1859 ~ 1927)于 1900 年使用这些结果[1901 年更有德国天文学家史瓦西耳德(K. Schwarzschild, 1873 ~ 1916)],建立彗尾的理论,合并了布累基兴早期的理论(第五章 § 35)。根据这个理论,辐射压施于小质点(其直径可与光的波长相比的),造成了对彗尾的驱力。根据光子理论和量子力学而来的物质和辐射相互关系的知识,说明一般辐射压力不能驱逐孤立的、如像彗星光谱里所表现的分子。

我们已经明白这种效应实际是由所谓“共振压力”而来的。这是一种选择的辐射压,当分子吸收和它的频率相当的光子的时候,这压力由它所接收的冲力而来。这理论对于彗尾的形成和彗星光谱的某些特性,都有满意的说明(第七章 § 48)。

至于彗核,根据对很接近地球的彗星所作的观测(特别是 1927 年巴耳代在默东天文台对庞斯-温内克彗星所作的观测),说明彗核很小,直径显然还不到 1.6 千米,这样也表明地球和彗核很少有碰撞的可能性,即使发生,亦不致酿成全球性的灾祸。

流星的研究没有在这样早的时期应用天体物理的方法,但是自 1930 年起天文学家系统地使用照相方法来记录流星的踪迹,惠卜耳并且在哈佛的临时观测站拍摄流星的光谱。自从第二次世界大战以后,人们追求高层大气和高速射弹在这区域里飞过的知识,因而对流星的研究感到极大的兴趣,于是继续进行以上所说的观测,而且加以扩充(第七章 § 48)。

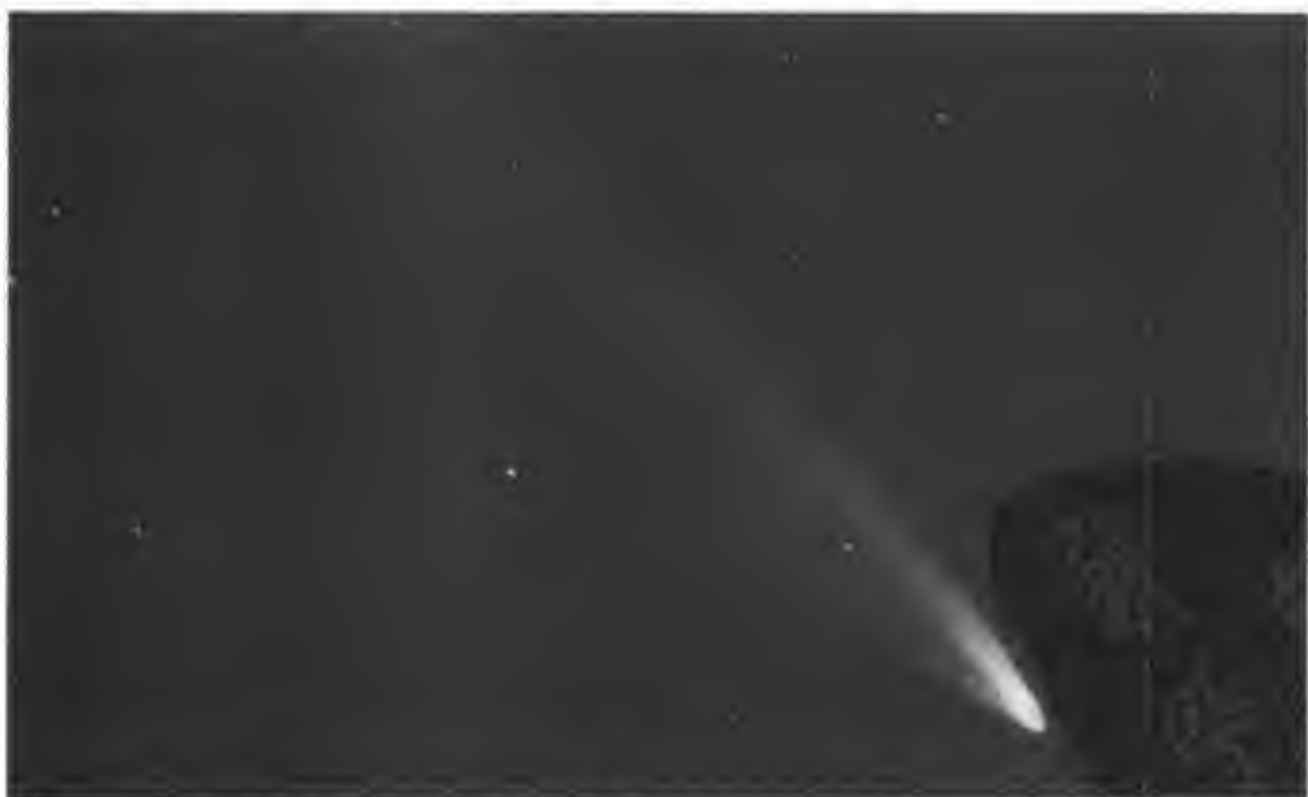


哈雷彗星(1910 II)
金星在右下方(1910年5月13日拍摄)

41. 天体力学与方位天文学

以上说过在 19 世纪中叶,天体力学虽然已经达到很完善的境界,可是在说明水星和月亮的运动上,还有一些困难。

水星近日点的运动 勒威耶发现的水星近日点长期运动的超差,于 1882 年经美国天文学家纽康(S. Newcomb, 1835 ~ 1909)加以证实。纽康利用 1677 至 1881 年间所观测过的水星凌日的数据,求得水星近日点的运动,由观测所得的数值比根据行星质量最好的数据所算出的数值,在每一世纪内多了 $43''$ 。纽康在 1895 年所刊布的《天文学的基本常数》里,讨论了自勒威耶以来解释这一超差的各种假说:如太阳不是球形的,水星轨道内或水、金二星轨道之间有一带小行星等假说,纽康加以研究之后,说明这些假说都不能解释观测的结果。最可取的建议当推美国天文学家霍耳(A. Hall, 1829 ~ 1907)所说的牛顿的定律须有一些很小的校正,但是那时却无法核验这个说法。



大彗星(1910 I)

1910 年 1 月 29 日 18 时 19 分至 18 时 41 分。主要的彗尾形似空心圆锥,边缘特别明亮,包裹彗核。

这个谜直到 1915 年爱因斯坦普遍相对论成立以后,才获得解决,根据相对论,行星轨道的近日点(对于牛顿的理论而言)应该逐渐前进,前进的角度可以由理论算出,对于水星数值是每世纪 $43''$ 。水星近日点运动超差的观测值和相对论所推出的数值这样完全相合,是相对论惊人的胜利,也是它在天文学上最令人折服的证明。

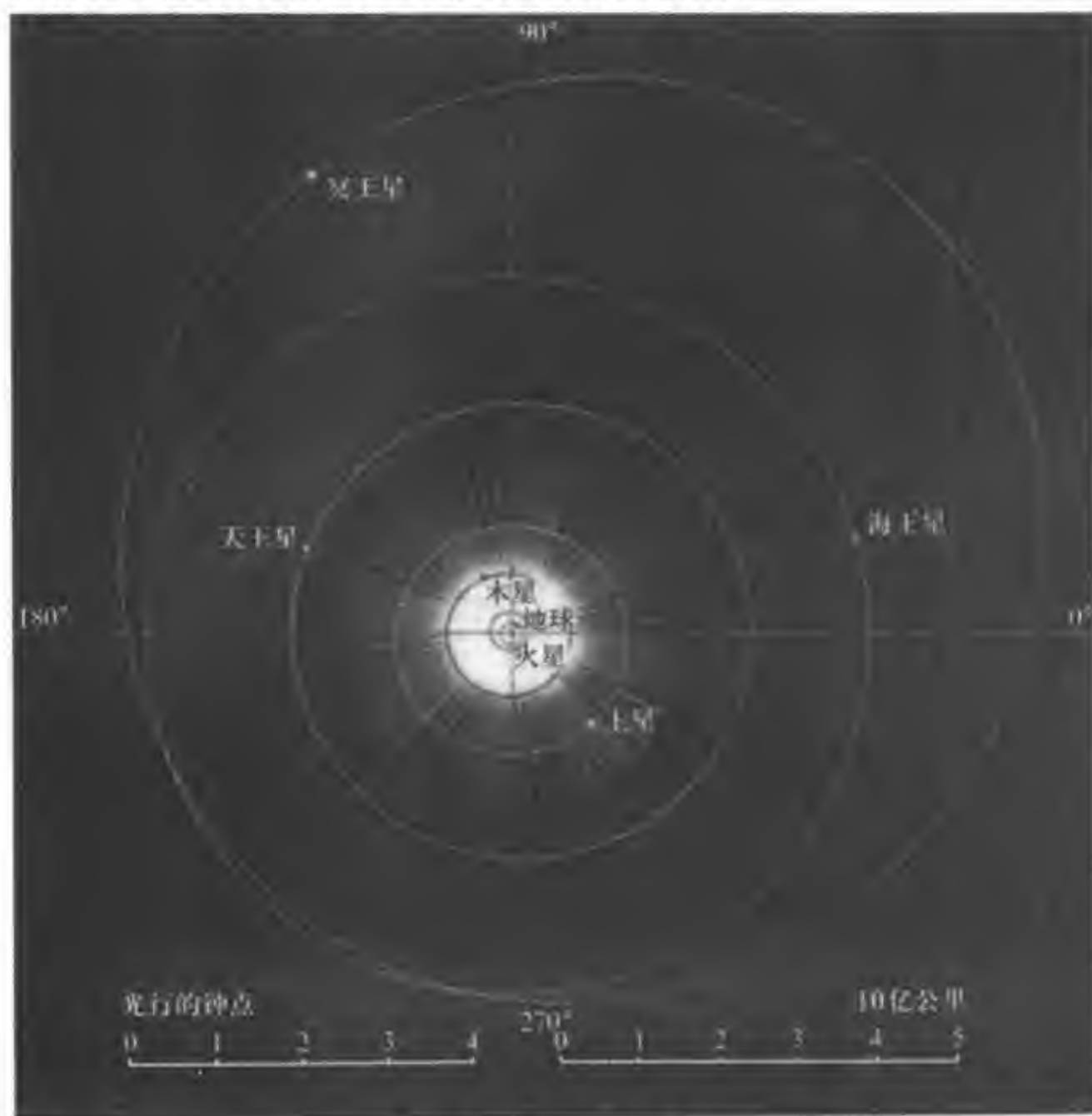
在近几年内,这些数值经美国海军天文台克莱门斯(G. M. Clemence)加以仔细的校核,他用 1765 至 1940 年间的观测,求出水星近日点的运动超差,为牛顿理论所不能解释的数值是 $42''.6$,这数值与相对论所预测的 $43''.0$,很是接近。

1945 年华盛顿海军天文台的摩根(H. R. Morgan)也发现由太阳的观测表现地球轨道的近日点有一长期的进动,数值是 $4''.6$,与由相对论推得的 $3''.8$ 相当接近。

地球自转的不均匀性 由月亮运动的研究,近几年来又得到一个重要的发现,即地球自转的不均匀性。早在 1870 年纽康便说明汉森的月行表精确度仍有缺欠,不能表示月亮的观测位置。汉森的理论已经大大改进了短周变项,至于长周变项仍然未能解释。所以一向被视为难题的月亮理论再由一些数学天文学家重新加以研究,其中著名的有法国人德洛内(C. Delaunay, 1816 ~ 1872)与腊道(J. C. R. Radau, 1835 ~ 1911),美国人纽康之外还有希耳(G. W. Hill, 1838 ~ 1914)与布朗(E. W. Brown, 1866 ~ 1938)。布朗将最精制的月行表与观测之间进行比较,发现总有一些偏差,到了 1926 年终于认识月亮运动之所以不能确切为理论所表示,实在是由于地球自转的不均匀性。布朗发现太阳与行星的观测位置,比较根据行星运行表所算出的亦有偏差,而且这些偏差和月行的偏差,循同方向和同时间而变化,只是变幅按各行星在轨道上的平均角速度而减少罢了。对于这事实惟一可能的解释便是由观测恒星而得的,代表地球自转的时间的标准,并不像我们所假想的,是均匀地在流动,因此在天体力学的定律的应用上是需要加以一些校正的。近些年来天文钟的制造精确度日益增加,特别是使用了借压电效应的石英钟以后,就查出地球自转在季节上的变化。这是国际时间局(巴黎天文台内)的斯多伊科(N. Stoyko)于 1936 年所发现的,后来得到许多人的证实,特别是格林尼治天文台的芬希(H. Finch)的工作。

这些地球自转出现变化经人解释为由于地面与地内的物质季节

的与无规则的移动,于是天文学家放弃了由恒星中天测定的恒星时,不用它当做时间的基本单位(参看第七章 § 47)。



太阳系(由地球到冥王星)

(按轨道的大小比例和偏心率描绘,关于水、金两星)。

太阳的距离 19 世纪结束以后,由于许多研究的结果,太阳的距离已有精密的测定。当天文学家对金星凌日感到没有希望的时候,便发现三角法有一个新颖而有前途的应用,这便是观测冲日时的小行星。小行星在望远镜里像恒星那样,是一个光点,比较火星或者金星具有圆轮,更能被测量得很精确。这方法由德国天文学家加耳(J. G. Galle, 1812 ~ 1910)提出,更由他于 1873 年应用于 8 号小行星(花神星)。1877 年英国天文学家季耳(D. Gill)由婚神星的观测,求得太阳的

视差为 $8''.77$ 。这方法的特殊成就是将结果推进到第三位小数,是由两半球六个天文台于 1888 至 1889 年间协作观测三个小行星(7 号 Iris, 12 号 Victoria 与 80 号 Sappho)而获得的。1895 年季耳整理出结果,求得太阳的视差是 $8''.802 \pm 0''.005$,这结果再和纽康的结果综合,得出的修正值为 $8''.80$,经 1895 年在巴黎举行的基本星国际会议采用为公认的数值。自从那时以后,这数字使用以计算行星的星历表,虽然已经过了五十多年,这数字在最近的将来还没有需要修改的迹象。

可是自从那时以后,有许多人努力去校验太阳视差的数值。自从最适宜于以三角法求太阳视差的爱神星(433 号)经人发现以后,天文学家组织了两度的国际协作观测:第一次在 1900 至 1901 年间的冲日,英国的欣克斯(A. R. Hinks, 1873 ~ 1945)由此推出的数字是 $8''.806 \pm 0''.004$;第二次在 1930 至 1931 年间的冲日,英国御前天文学家斯宾塞尔-琼斯(H. Spencer Jones)于 1942 年求得的数值是 $8''.790 \pm 0''.001$,大家认为是近今对于太阳距离最好的数值。

还有动力的与物理的方法须根据月亮的角差(parallactic inequality)的测定和光行差常数的分光测量,由这方法所求得的数值要大一些,大约是 $8''.803$,由此可见由各种方法所推得的数字,其间尚有差异,还值得天文学家付出心思去加以考虑的(参看第七章 § 47)。

II. 恒星系与宇宙

42. 恒星的研究

上面说过,1885 至 1886 年间哈佛大学天文台使用物端棱镜的方法,对恒星光谱的分类作了大规模的研究。纪念亨利·德腊珀尔的第一本星表刊布于 1890 年,这是根据莫里女士(Miss A. C. Maury, 1866 ~ 1952)的光谱分类的新方法而作成的。这个分类法经过逐渐的改良和扩大,自从那时以后便普遍地被采用了。恒星按照温度递降的次序,被分为一系列的类型,以字母表示为 O, B, A, F, G, K, M, R, N, S, 主要的 B, A, F, G, K, M 六型,差不多包括了全部恒星。哈佛天文台的这一

工作,经莫里女士创始,卡农女士(Miss A.J. Cannon, 1863 ~ 1941)继续,结果使 225 000 多颗星得到光谱的分类,于 1918 ~ 1924 年间,刊布在《亨利·德腊珀尔星表》(*Henry Draper Catalogue*)之内。以后更扩充成续篇(*Henry Draper Extension*),凡是比 8 等亮的星以及很多暗星(至 11 等为止),都得到光谱的分类。这是近代天文学上的巨著,为以后许多研究提供了资料。



射电星系

半人马座 A(NGC5128),距离 1400 万光年。

1905 年丹麦天文学家赫兹斯朋(E. Hertzsprung, 后来做了荷兰来顿天文台台长)做了一个有根本的重要意义的观测,K 和 M 两型恒星内,有一些是绝对光度低(比太阳暗很多)的近星,另外一些是绝对光度高(较太阳明亮无比)的远星。他建议第一群应该叫做“矮星”,第二群应该叫做“巨星”。1913 年美国天文学家罗素(H. N. Russell)证实这种划分法,并且加以进一步的研究。罗素绘了一幅有名的图解,被人叫做为《赫—罗图》(*Hertzsprung—Russell Diagram*)。这幅图(图 21)表示恒星的绝对星等与光谱型的分布,巨星分布在图上的一水平带上,这带以上还有一些星,叫做“超巨星”。大多数的星从 B 型巨星到 M 型矮

星,分布在一个斜行的对角线上叫做“主星序”,太阳是 G 型星,位置在主星序的中央。最后,在左下角是一些异常的星,名叫“白矮星”,以后还要讨论到。

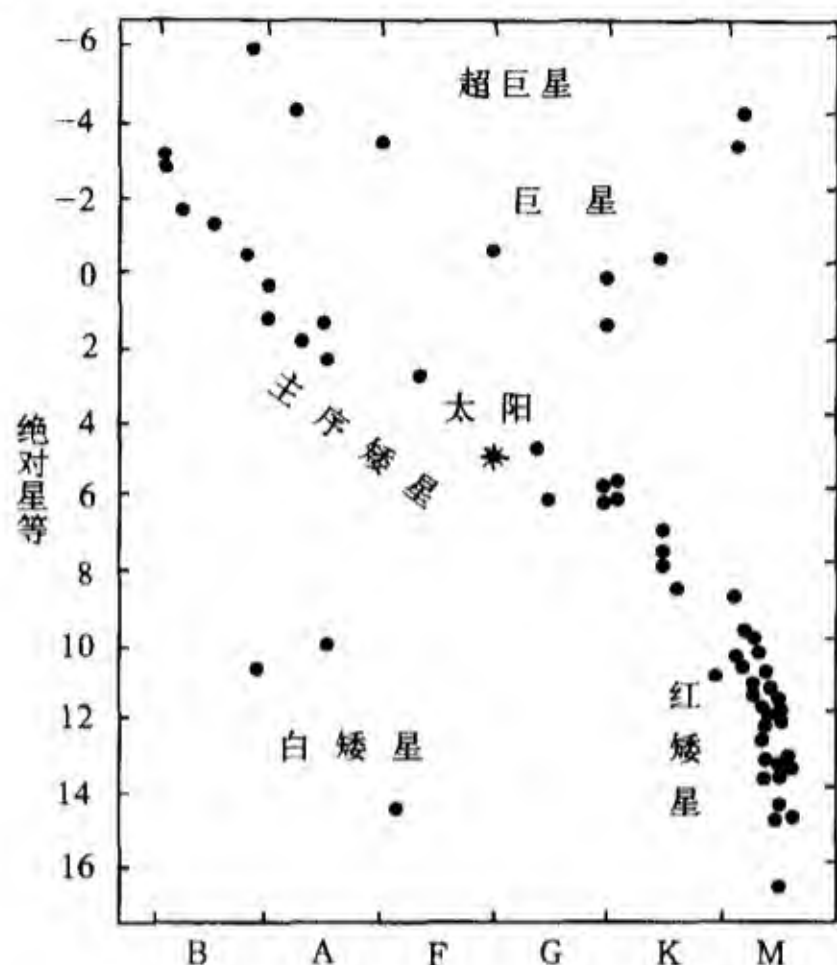


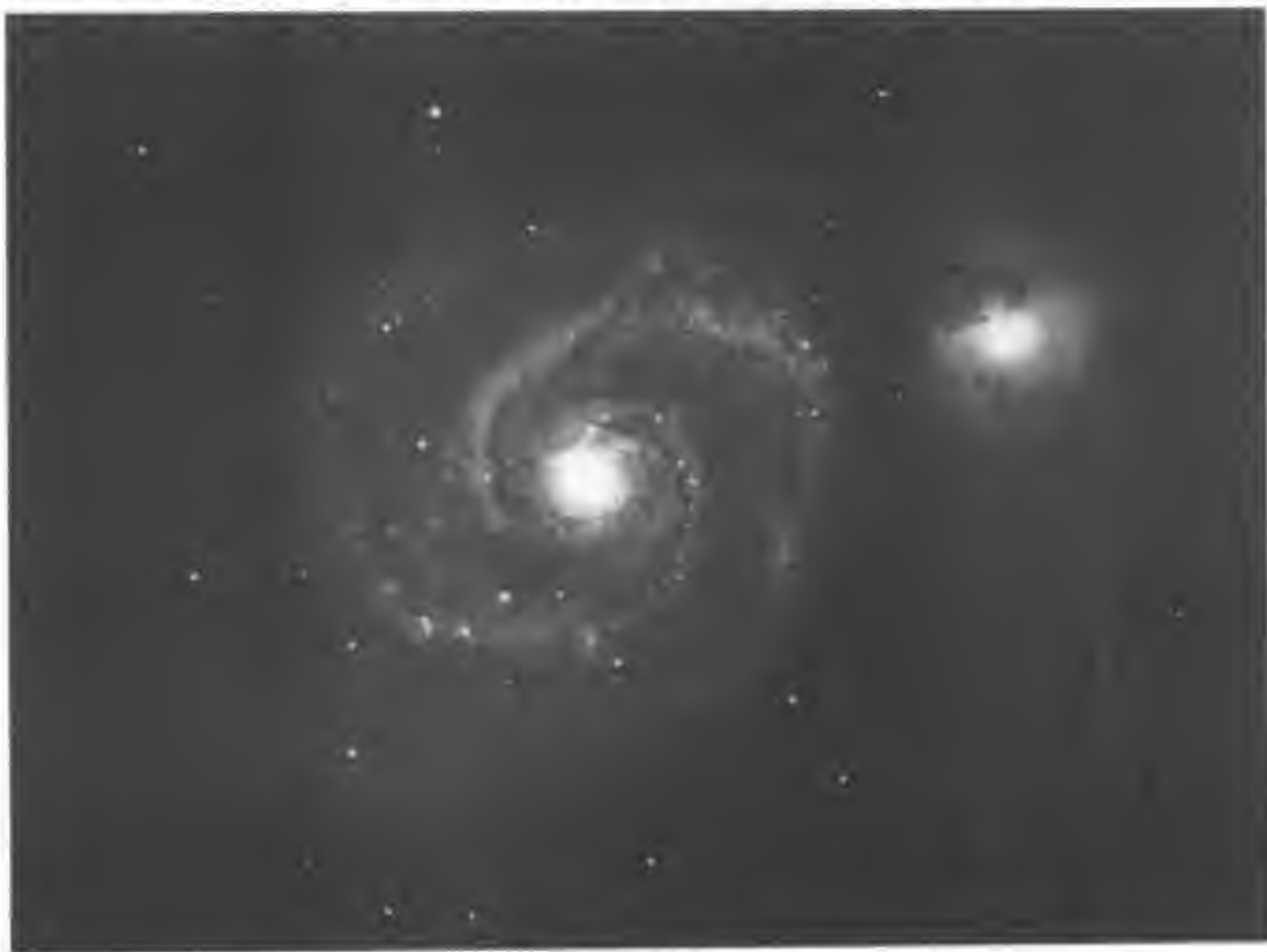
图 21 赫—罗图

恒星按光度(绝对星等)与温度(光谱型)的关系分布图

1914 年美国天文学家亚当斯与德国天文学家科耳许特 (A. Kohlschütter, 1882 ~ 1942) 合作,发现在同谱型的巨星和矮星的光谱之间有虽细小而却是有意义的差别,某些谱线的强度之比对于巨星和矮星是不相同的。这发现经亚当斯利用,于 1916 年创建一个新颖而有力的方法去测定恒星(特别是遥远的巨星)的距离,因为使用两条适当的谱线的强度之比为横标,利用三角法^① 求出距离的星的绝对星等为纵标,绘出校准曲线,所以只须测量一颗星的两条谱线的强度之比,便

^① 三角视差法有它的根本性的重要性,其精确度因使用照相的方法大有增加,在这方面最有贡献的当推美国天文学家施勒辛格尔 (F. Schlesinger, 1871 ~ 1943),他于 1905 至 1911 年间所做的工作经许多人接着做下去,结果对离开太阳几百光年的恒星的距离,认识得很清楚。

可求出它的绝对星等,再和视星等加以比较,便可求得这颗星的距离。这叫做分光视差法。因为有了这个方法,经人求得恒星距离的数目迅速地增加^①,同时这些测量的范围也由几百光年(三角法的上限)达到几千光年,这结果对于银河系的研究是很重要的(§ 43)。



猎犬座旋涡星系 M51

距离 2 100 万光年,另一编号 NGC5194,另有小伴星系 NGC5195,可以看出这个小伴星系由于在星系的引力作用而处在其旋臂上。它是一个特别引人注意的星系。

同时(约在 1910 年)波茨坦的威耳森(J. Wilsing)和席奈尔(J. Scheiner, 1858 ~ 1913)与巴黎的诺尔德曼(Ch. Nordmann)应用普朗克(Max Planck, 1858 ~ 1947)于 1900 年所发现的关于热辐射的定律,首先测定了恒星的温度,因而算出恒星的直径。于是人们才明白“巨星”和“矮星”这两个名词不但是应用于恒星的亮度,而且应用于恒星的容积。1920 年美国物理学家迈克耳森(A. A. Michelson, 1852 ~ 1931)和天

^① 已知距离的恒星的数目:在 1892 年是 87,1910 年 305,1935 年超过 7 000,到了 1948 年,差不多是 20 000。

文学家比斯(F. G. Pease)合作,在威尔逊山 100 英寸(2.5 米)望远镜上安装一具很大的干涉仪,对几颗超巨星的视直径,做了直接的测量,因而证实了由恒星温度计算出的直径。直接观测得的最长的直径(萑藁增二星)只有 $0''.05$,恒星的直径小至不能以现今最大的望远镜去测量,所以只可用间接的方法去探测它们。1938 年威尔逊山天文台的惠特弗德(A. E. Whitford)还发明另外一种测量恒星的直径的方法,那是在恒星被月亮掩蔽的时候,记录恒星团衍射而来的光亮的起伏变化,将观测得的变化和由衍射理论所算得之值加以比较,便可估计恒星的角直径。

但是最有效的方法当推根据食变星的方法。上面说过(第五章 § 36),皮克林早在 1880 年因假设大陵变星的光变周期是两星互相掩蔽的结果,第一次求得那颗变星的直径。这假设于 1888 年经沃格耳证明是正确的,因为他看见大陵变星的光谱线圈绕平均位置移动,这移动的周期和光变周期相同,这样的谱线移动,经他说明是双星绕其公共重心运行时,由视向速度的变化而来。

次年莫里和皮克林使用哈佛天文台的光谱照片,注意到双星开阳(即大熊座 ϵ 星)的明亮一颗的谱线呈周期的双线化,便首先发现了所谓分光双星。食变星现象发生于地球恰巧位于这星系的轨道平面的附近。谱线所以变成两条是因两颗双星都相当明亮,都有可以观测到的光谱。但是如果一颗星比另外一颗明亮得多,只有一个光谱出现(大陵变星便是这样),谱线便呈周期性的移动。

由分光双星的研究,特别是由食变星的研究,发现一些很有趣的结果。1912 年罗素与夏普勒在普林斯顿发展食变星的光变理论,且计算出数字表,根据光变的情况由表可以查出这些星系的成员的大小,于是许多不同类型的星的直径,被人求出。

同时因观测技术的进步使人发现更细致的效果。例如斯迪宾(J. Stebbins)对于大陵变星于 1911 年使用第一个光电光度计所做的很精密的观测,得以查出暗的伴星实际亦发射一些光线,所以当其被亮的主星掩蔽的时候,这星系的光辉亦减少一点。这与掩食的理论完全相合。

1924 年马克洛林(D. B. McLaughlin)与罗西特尔(R. A. Rossiter)经过对大陵和别的变星的光谱的精细研究,说明这些星都各绕它们的轴自转。以后美国的斯特鲁维和苏联的沙茵(G. A. Shajn)从单颗星的谱线的变宽,亦说明有些星亦绕它们的轴自转。这样寻出自转迅速的星



马头星云位于猎户座三星中 ϵ 星的附近,是最著名的暗黑星云之一。这里也是恒星诞生的场所。在红色的明亮弥漫星云的背景上不发光的物质呈现出马头形状,因此而得名。这些照片也是人们最喜爱的天文照片之一。明亮的恒星、泛红色的弥漫星云衬托出马头星云的美景。星云的距离为 1 300 光年。马头直径约 1 光年。

多数属于早型的 O, B, A 型星,换言之即属于很热的星。

还该提到由食变星和分光双星的研究得出许多重要的数据,举其重要的有恒星大气的吸光度,恒星体内的凝聚度,恒星团迅速自转发出纤维状物质与气壳等。

对于恒星的性质有重要贡献的变星,当特别提说到造父变星,这是由造父即仙王座 Delta 星而得名的一类变星。由观测得知这类变星的光谱线上所表现的视向速度有周期性的变化,并和其光变的周期相同,因此在 20 世纪之初有人把造父变星当做是分光双星。1914 年夏普勒说明这个假设是不能成立的,因为如果这样,这双星系的轨道范围当比双星本体还要小,这样就使得两星密集到彼此的体内去转动了。

夏普勒建议这些星应该是脉动星, 换句话说它们的半径是在变化的, 所以它们的表面因循环地和我们接近与离开, 而造成了所观测的视向速度的变化, 这理论跟着即被英国天体物理学家爱丁顿加以发展。由这理论得到一个新的方法, 一方面可以测定这些星的大小, 另一方面还可解释勒维特女士 (Miss H. S. Leavitt, 1868 ~ 1921) 于 1912 年所发现的一个很重要的关系, 即是造父变星的周期和其平均亮度之间的关系 (图 22), 后面还要加以讨论 (第六章 § 43)。

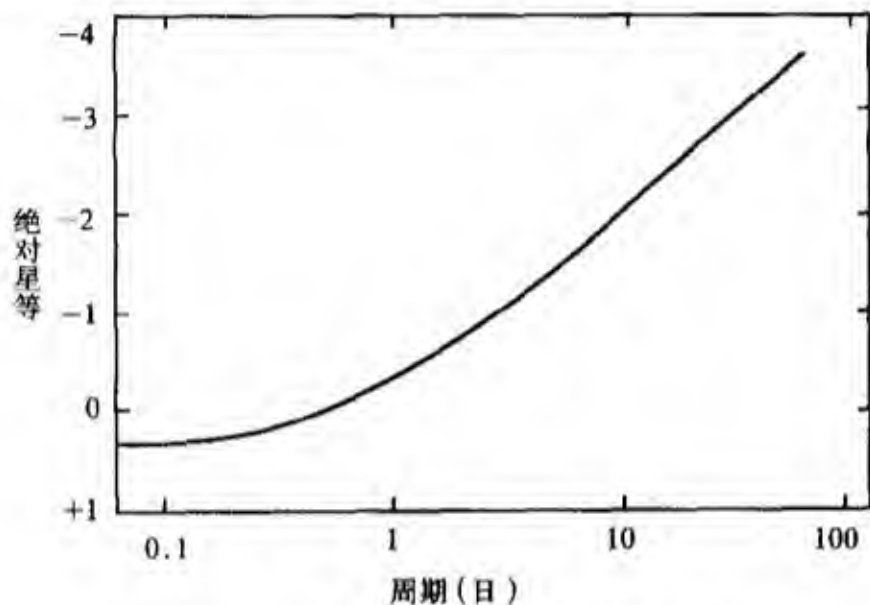
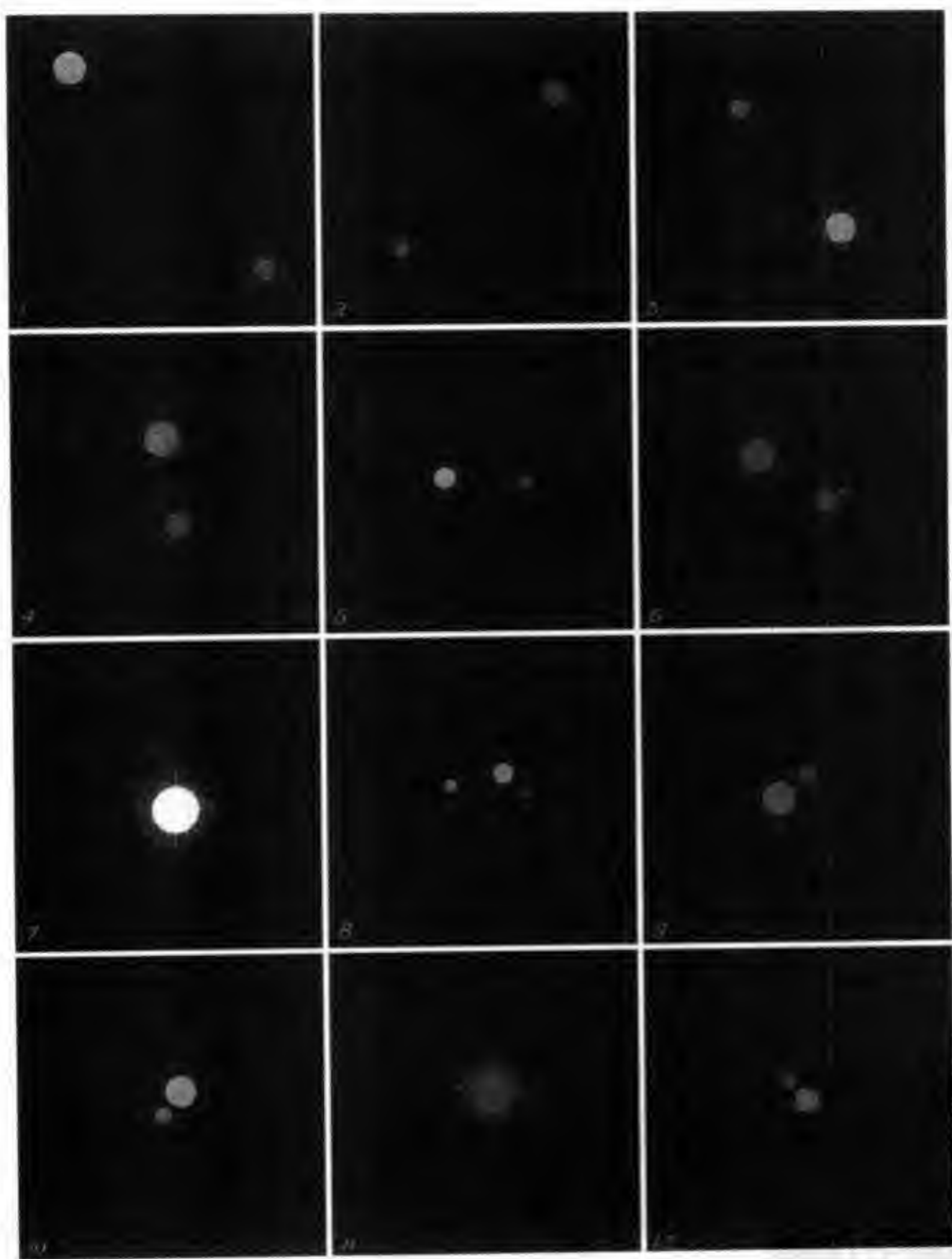


图 22 夏普勒的造父变星的周光关系
与战后的修正(图 34)比较

这一时代里, 对恒星的构造的物理研究有很大的进步, 特别该提到印度天体物理学家萨哈 (M. N. Saha, 1893 ~ 1956) 的工作, 他于 1920 年提出恒星大气里原子的电离理论, 并且以大气的温度与压力的函数计算各种电离平衡状况下的元素的分量。自 1925 年以来这理论经过哈佛大学的佩恩女士 (Miss C. Payne) 和门泽耳, 荷兰的潘内科克 (A. Pannekoek) 和德国的翁索耳 (A. Unsöld) 等应用以研究恒星。由这些研究得知氢和氦占恒星物质的成分的 99%, 这一结论在近代宇宙论上有相当重要的意义。

氢占的分量特别大, 1938 年因维耳特在恒星大气里分析证明了一个新的成分 (带负离子的氮)^① 而得到证实, 由于这种离子的吸光, 才造成像太阳那样的大气, 具有高度的不透明性。这件事在理论上由在

① 这是由中性氮原子捕获一个电子而成的。



美丽的双星

从望远镜中可以看到许多美丽的双星(或三重星……),从颜色对比上显示出双星之美:(1)天鹅座 β , (2)英仙座 η , (3)大熊座 α , (4)天蝎座 β , (5)海豚座 γ , (6)仙女座 γ , (7)猎户座 β , (8)仙后座 ϵ , (9)武仙座 α , (10)牧夫座 ϵ , (11)天蝎座 α , (12)牧夫座 ξ 。

叶凯士天文台工作的印度理论学者昌德拉塞卡(S. Chandrasekhar),在观测方面得到法国天体物理学家夏隆日(D. Chalonge)等人的证明。

和恒星大气的理论同时进展的还有恒星内部构造的理论,这一理论的成熟,主要是由德国天文学家埃姆登(R. Emden, 1862 ~ 1940)与史瓦西耳德(K. Schwarzschild, 1873 ~ 1916)约在 1906 年间的工作,特别是由 1916 ~ 1924 年间爱丁顿关于恒星的辐射平衡所作的一系列的研究。按照这个理论,恒星内部气体物质的平衡是由气体的膨胀力和辐射压与物质的重力相对抗而维持住的。由这理论推出恒星中心区域的温度很高,常以百万乃至千万度来表示它(图 23),这种高温的来源直到 1938 年才得到满意的解释。美国的贝特(H. Bethe)和德国的魏扎克儿(C. von Weizsäcker)发现一种原子核反应的循环,氢在恒星内部缓缓地变形为氦,释放能量,以可见光的形式从恒星的表面发射出去。太阳和恒星的辐射能量来源的这个发现,解决了太阳热能的来源(第五章 § 33)和维持几十亿年的问题,因为地球的年龄,经英国地球物理学家霍耳姆斯(Holmes)估计已有 35 亿年了。

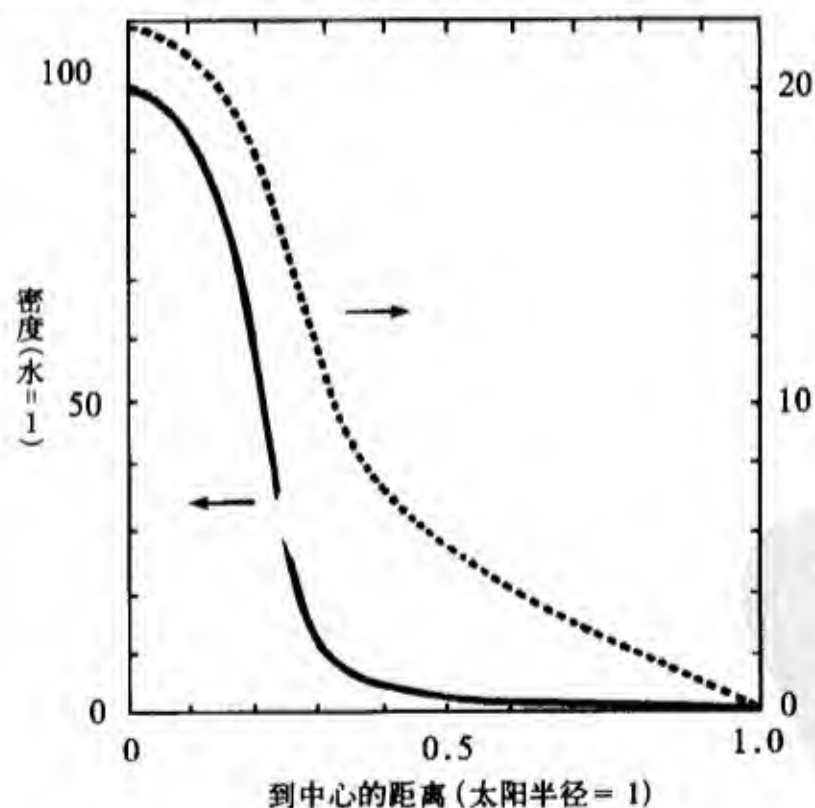


图 23 太阳的内部(按照爱丁顿的研究)
从太阳的中心到表面,温度与密度的变化曲线

1924 年爱丁顿从恒星辐射平衡的理论推得一个重要的结论,这便是恒星的质量和亮度之间的关系。起初爱丁顿以为巨星纯粹是气体

组成的,由理论推出这个关系,以后查出这关系对于主星序里的矮星亦属有效,虽然矮星中心的密度已经超过最重的金属的密度。爱丁顿认为这是由于星球内部高温使原子高度电离的原故。这样的电离夺去原子外围的电子,于是大大地减少了相互间的干扰,因而物质可以在很高的密度下,仍然维持气体的性质。爱丁顿的质—光关系却不能应用于“白矮星”,白矮星的质量比从它们的亮度所推出的质量大得多,这是因为这些星的物质达到异常高的密度,致使气体定律无效。例如天狼伴星的情形,我们寻出它的直径还不到地球的直径的两倍,而它的质量便等于太阳的质量,因而它的平均密度超过水的密度的十万倍。

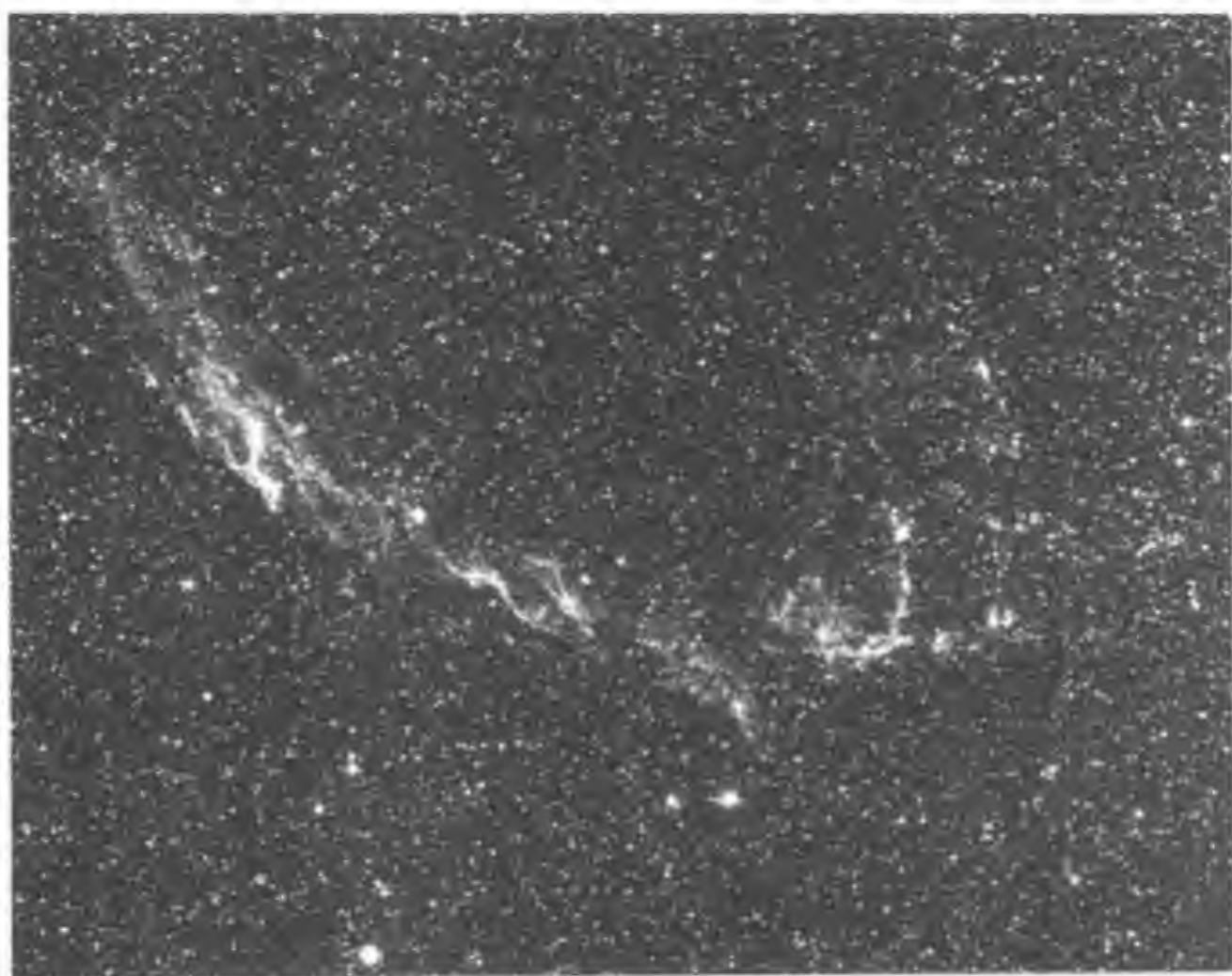
这些异常的情况提供了检验相对论的另外一个天文学上的效应。根据相对论,周期现象(例如原子内的振荡)的视频率,当现象的来源放在一个强的引力场内的时候,将会发生改变,这样的引力场必然是存在于天狼伴星的表面上的。这种周期现象的变缓表现在光谱上将是谱线向红端的稍微移动,1925 年亚当斯将一具大色散的摄谱仪放在威尔逊山 100 英寸(2.5 米)口径的望远镜上,果然在天狼伴星的光谱里发现了谱线的这种移动,因为观测的结果和理论的预测有令人满意的相合,这同时证明了相对论的正确和白矮星上极密的物质的存在。接着英国物理学家福勒(R. H. Fowler, 1889 ~ 1944)使用那时新生的波动力学方法,建立了白矮星物质在“简并态”^①下的理论。这理论以后更由昌德拉塞卡等人加以完成(第七章 § 49)。

43. 银河系的研究

直到 19 世纪末关于银河构造的知识还很模糊,自从赫歇耳时代以后,这方面没有显著的进步。我们对星系的研究,在荷兰天文学家卡普登(J. C. Kapteyn, 1851 ~ 1922)的手里,才革新了它的面貌。

1904 年卡普登发现将太阳的运动的效果除去以后,恒星的运动不是如预料那样无规则地分布在天球上,而是大部分的星分布在两个星流里,指着天空中距离很远的两个方向。以后 K. 史瓦西耳德和爱丁

^① 密度很大的物质失掉它的原子核周围的电子,结构非常致密,不再具有一般物质的化学性质,这种特殊物质叫做在“简并态”下的物质。——译注



天鹅座网状星云

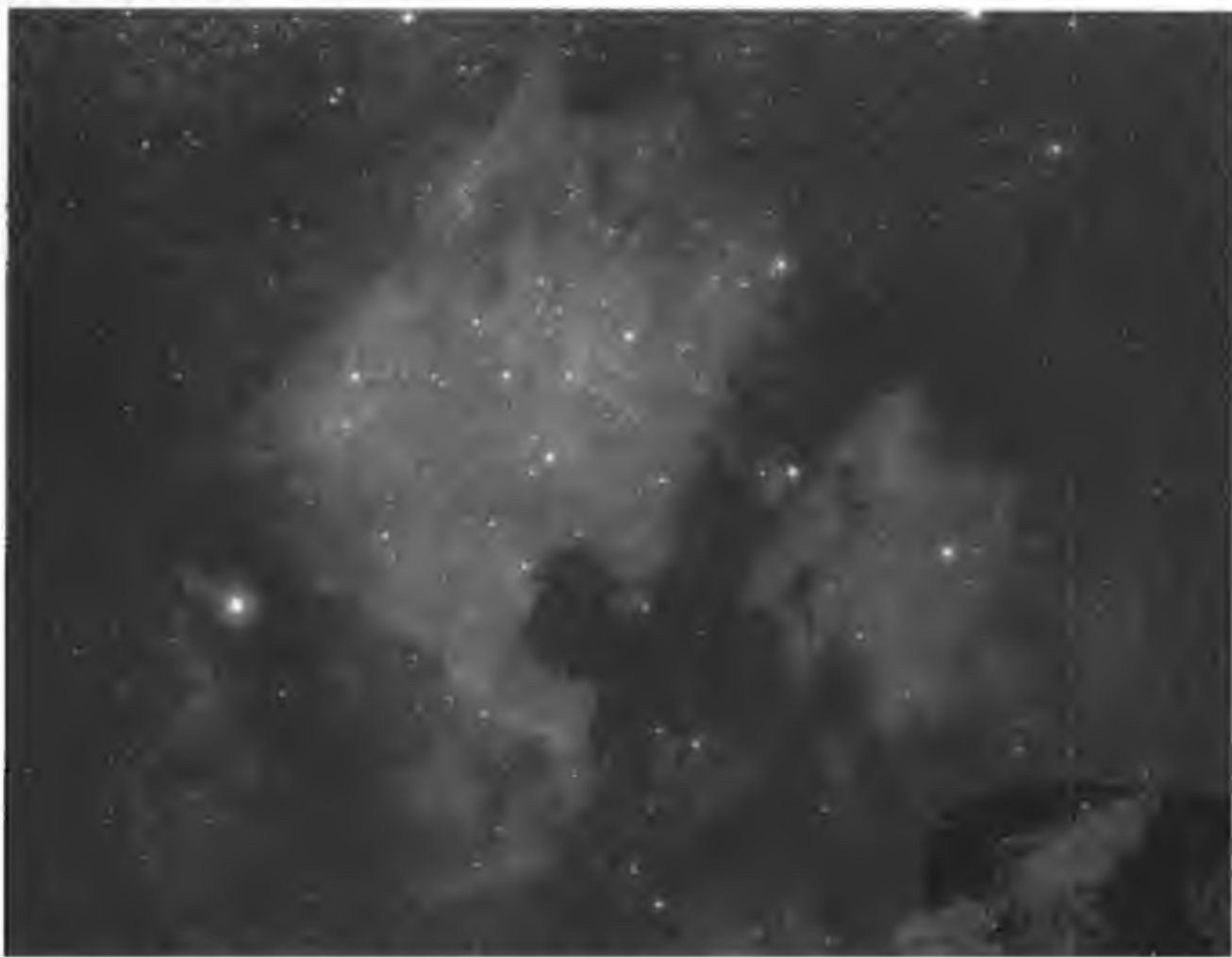
它是古代超新星遗迹,像一条色彩绚丽的纱巾飘散在星空中,形态极美。距离约 2 500 光年,可能是在 16 万年前诞生的。

顿进一步的研究只证实卡普登的发现,但是这种定向的分布现象,经过很长的时间没有得到解释。

卡普顿认为赫歇耳对恒星的数目的统计,应当在现代的基础上重新加以系统的研究。因此他于 1906 年建议详细研究均匀分布在天球上的 206 个“选择区域”,这些区域里各种星等的星由许多天文台共同努力,去做出一些统计。对这些观测结果和各种星表的资料加以统计,卡普登于 1922 年提出一种银河系的模型。和赫歇耳的模型很相似,按照这个模型,恒星的密度在各方向上距离太阳愈远而愈小,他认为太阳在这直径 40 000 光年的星系的中央。

可是这个模型却和以前夏普勒由另一研究所推出的模型不同。我们现在将夏普勒的方法,从头叙述在这里:大约在 1900 年间,贝勒(S. I. Bailey, 1854 ~ 1931)在各种球状星团里发现许多造父变星。1912 年哈佛大学另外一位天文学家勒维特女士在两个麦哲伦星云里也发

现一些造父变星(已经叙述在 § 42 内),而且发现这些变星的周期和视亮度之间有一个很确定的关系。赫兹斯朋和夏普勒立刻觉察这关系亦可对绝对亮度有效,因为麦哲伦星云里的造父变星对于地球的距离可算是相同的,所以这些星的绝对星等与视星等的差应该是相同的。赫兹斯朋使用那时仅有的几颗银河造父变星的绝对星等,于 1913 年定出周期和绝对星等之间的关系(图 23)。自那时以后,测定一颗造父变星的光变周期便可求得它的绝对星等,因而比较由观测得来的视星等,便可推出那颗星的距离。赫兹斯朋使用这方法于两个麦哲伦星云,求得的距离大约是 10 万光年。以前天文学家从来没有测量过这样远的距离。



北美洲星云和鹈鹕星云位于天鹅星座,星云的形状和名称极其相似,十分有趣,位于天鹅座最亮星天津四的附近。距离约 2300 光年。

接着,夏普勒使用威尔逊山那时最大的 60 英寸(150 厘米)望远镜去研究许多球状星团里的造父变星。在几年内他测定了一些最有名的球状星团的距离。1918 年夏普勒从他的研究里推出球状星团形成一种密集在银河内的星团系,太阳并不在这系统的中心,而离开中心

约有 5 万光年,这中心在人马座内。夏普勒大胆地假定银河星系的中心便是球状星团系的中心,这星团系的范围据他那时估计为 30 万光年,也被认为是我们的星系的范围。夏普勒将太阳的位置赶出银河的中心,有人比拟为哥白尼将地球赶出行星系的中心一般。

卡普登刊布他的银河系的模型以后几年,由以上两个方法所得出了不同的结果,并发生激烈的争执,许多人怀疑夏普勒的主张。1926 年瑞典天文学家林布拉德(B. Lindblad)证明银河星系有绕远方中心的普遍自转,这中心也在人马座的方向,于是人们又相信夏普勒的结论。银河自转的发现经荷兰天文学家奥尔特(J. H. Oort)的证实,他更说明在太阳附近还有一种银河系的较差自转。太阳和近邻恒星的这一种自转,方向指着天鹅座,速度经估计为 270 千米/秒,于是太阳绕着 3 万光年外的中心,以 2 亿年的周期,在银河系里运行。

关于银河中心的距离,夏普勒和奥尔特两者的结果的差异于 1930 年才得到解释。瑞士天文学家汤普勒尔(R. J. Trümpler)从他在里克天文台所作的银河星团或疏散星团的研究,表明星际空间不是像以前假想的那样,完全透明,它们实际到处都有很稀薄的物质。这些星际物质,如像薄雾那样,吸收远星的光线,使它们显得比实际还要远些。球状星团的距离经过星际吸光效应的校正以后,推出太阳到银河中心的距离是 3 万光年,与由银河自转的研究所推出的递增结果相同,同时银河系的直径亦缩短到 10 万光年以下。



仙后 γ 星,周围有星云气

汤普勒尔的发现使星际物质的研究成了天文学上亟待解决的问题。自本世纪开始天文学家便发现许多现象表明星际空间有稀薄物质的存在。1904 年德国天文学家哈特曼(G. Hartmann)在分光双星猎户座 δ 星的光谱里发现一条谱线(钙的 K 线)和别的谱线不同,因为在星的视向速度的周期变化里,这条线总是固定在相同的位置上。这条钙的“无位移谱线”的奇特现象不久在别的分光双星的光谱里也观测到,经过很长时间均被人误解为是由双星周围固定的钙云而来的。1928 年在叶凯士天文台工作的斯特鲁维说明无位移谱线的视强度按星的距离而增加,这表明吸光的原子实际分布在恒星与地球之间的空间内。自从那时以后许多星际吸收谱线(由许多原子和一些分子而来的),经人发现在远星的光谱里。除了钙和钠的中性和电离的谱线之外,他们还证明识别出钾、钛等原子的谱线以及分子如氰(CN)和氢化物(CH 与 NaH)的谱线,这说明星际物质中有大量氮元素在内。氮亦由它的红色谱线 $H-\alpha$ 直接被人观测到,银河广大区域里的氮的发射谱线于 1938 年经斯特鲁维与埃耳佛(C. T. Elvey)发现于麦克当纳天文台。由理论计算出空间氢的含量远远超过别的元素。对氢元素特别多的认识,在宇宙的性质和起源的理论上有很大的影响(§ 44)。

星际吸光物质的另外一种表现,于前世纪之末经德国天文学家沃耳夫和美国天文学家巴纳尔德观测得到。他们首先注意银河带里好像暗黑的区域,在星野的照片上好像是完全没有恒星的区域。^① 他们证明这些区域里不是真的没有恒星,不是银河的“空穴”,而是因暗黑物质将远处的恒星遮掩了的缘故。沃耳夫于 1923 年发明一个方法,测定这些暗云的距离与厚度。

1912 年 V. M. 斯利弗尔在洛韦耳天文台发现昴星团周围的星云的光谱,不是像气体星云(如猎户星云^②)那样的明线光谱,而是反射星云里的星光所成的连续光谱。这种“反光星云”的发现也表明空间有稀薄的尘埃云可以散射附近恒星的光线。

① 塞西曾经讨论过这些暗区,并正确地猜测出它们的性质,于 1877 年刊布在一本很少人知道的报告之内。

② 气体星云光谱里明线的来源,于 1927 年得到美国天体物理学家包温(现任威尔逊山和帕洛马山天文台台长)的解释,他证明这些明线是电离的氧和氮的“禁戒”辐射。他终于说明所谓“氦”这个元素是不存在的。



盾牌座里巨大的银河恒星云

这种看不见的星际“薄雾”的性质以及组成它的质点的大小,自1930年以来,经过许多天文学家一系列的实验和理论的研究,明了了不少。例如斯迪宾于1932年证明远星的光因经过很厚的星际物质层,光线变成了红色。又如瑞典天文学家沙伦(C. Schalén, 1826 ~ 1911)首先由选择吸光的经验定律计算星际物质的平均大小。这些吸光质点的直径约为1/10微米(即 10^{-5} 厘米)。这些质点的性质还不很清楚,一般都以为组成它们的元素与彗星和流星里的元素相同。

在这时期里,虽然对银河系里的恒星和星际物质的研究有很迅速的进步,但是对银河系的一般结构知道得仍然很少。林布拉德等从银河系的普遍自转估计出我们星系的总质量大约是太阳的质量的1 000亿(10^{11})倍,但是这星系的形状与结构,我们只知道它在太阳近邻的一个极小区域的情形。几千光年的距离以外,星际尘埃吸光的积累效应便成了很大的障碍,以致银河系远方的情况,就不能从光学的观测去知道了。我们只好根据河外星系的情态(§ 44)假想银河系也是一个旋涡星云。这问题的解决是二战后的显著成就(第七章 § 50)。

44. 河外星系的研究与宇宙膨胀

前世纪的后半期我们对太阳系和恒星系的知识虽然也有很大的进展,但是近代天文学的最重要的特征,无疑表现在对河外星系的认识和对宇宙膨胀的发现。



甚大天线阵(美国)

上面说过,照相方法使用以前,星云的研究不可能有大的进步,自照相方法使用以后,再因为望远镜的口径愈来愈大,于是被人观测到的星云增加得很快。

在照相观测这方面最有贡献的天文学家,除了英国天文爱好者埃·罗伯尔茨之外,还须提到下面三位天文学家:基勒尔(G. E. Keeler, 1857 ~ 1900),他于 19 世纪末曾使用里克天文台的 36 英寸(90 厘米)反射镜观测星云;美国光学家里切(G. W. Ritchey, 1864 ~ 1945),他于本世纪初年曾使用叶凯士天文台的 24 英寸(60 厘米)镜和威尔逊山天文台的 60 英寸(150 厘米)镜做过观测;比斯也曾使用威尔逊山的 60 英寸和 100 英寸(2.5 米)反射望远镜做过相同的工作。

美国天文学家哈勃(E. Hubble, 1889 ~ 1953)因使用 100 英寸反射

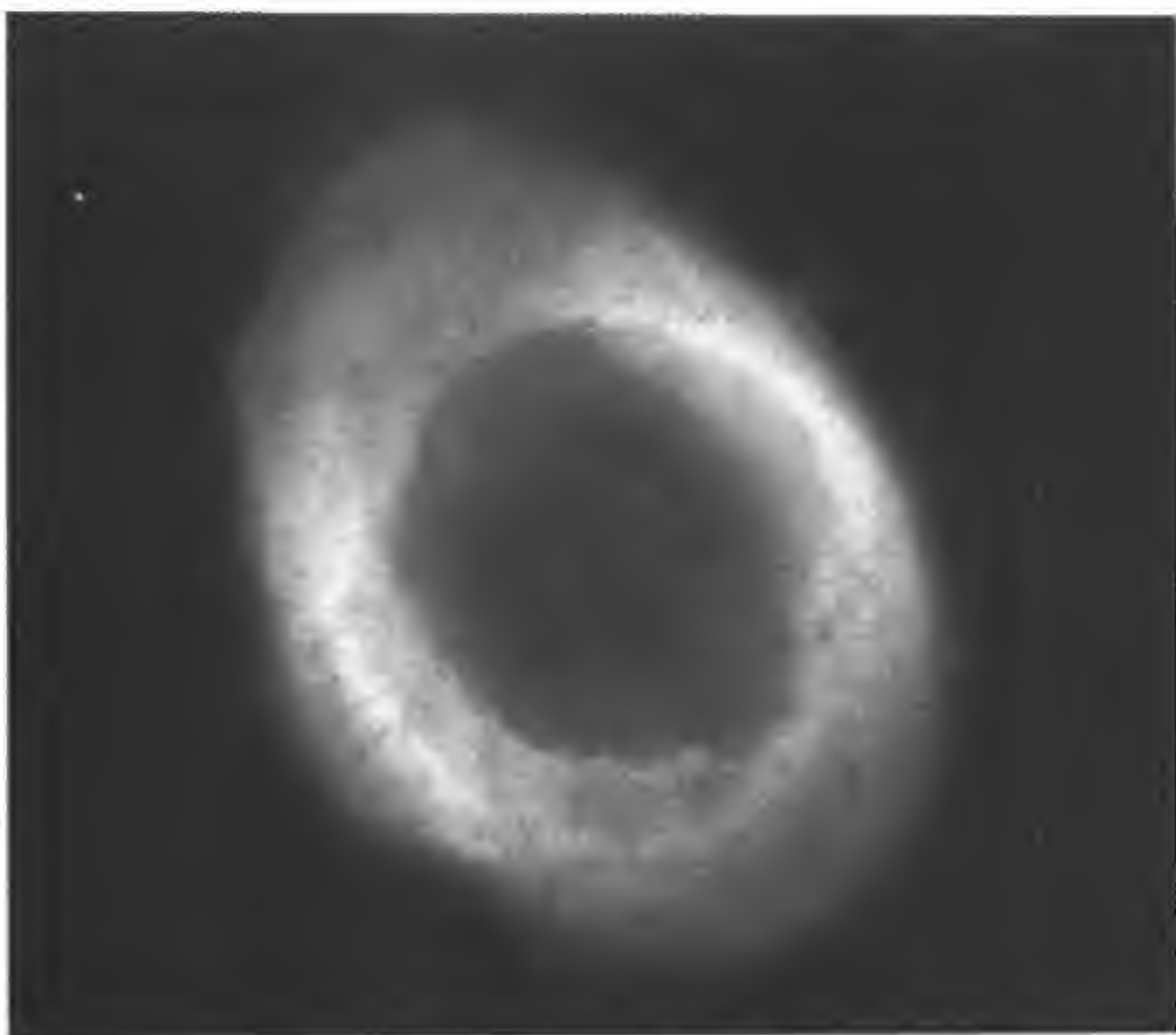
镜(在 1918 至 1948 年间它是世界最大的望远镜),终于在 1924 年说明旋涡星云的性质。上面说过到 19 世纪末这些发连续光谱的“白色”星云的情况还很不确定。1899 年德国天文学家席奈尔(J. Scheiner, 1858 ~ 1913)由很长时间的曝光终于拍摄得仙女座星云的暗淡光谱,发现这个光谱里有像太阳光谱里那样的黑线,他因此断言这星云实际是遥远的恒星的集团,但是 1912 年斯利弗尔发现“反光星云”亦表现恒星式的光谱(§ 43),人们对席奈尔的结论又发生了怀疑。

1917 年里切因在旋涡星云里发现新星,又革新了这个问题。跟着天文学家仔细研究仙女座星云的照片,知道暗的新星在那里出现得相当频繁,将这些新星的视星等和银河系里的新星的绝对星等加以比较,才知道仙女座星云的距离很是遥远(约有 100 万光年的数量级),这结论是 1918 年在里克天文台工作的柯蒂斯(H. D. Curtis, 1872 ~ 1942)所得到的。

这问题到了 1923 至 1924 年间在哈勃手里才得到解决,他使用 100 英寸口径的大望远镜将仙女座星云的外层和别的几个大星云的外层分解为个别的恒星,在这些恒星里他识别出几颗造父变星。他现在可以应用周期—光度关系(§ 42)精确地测定仙女座星云的距离,数值是 80 万光年,与由新星求得的结果相合。这一结果确认了这些星云大多数是银河系外的星系,开辟了研究的广大领域。1925 年哈勃说明河外星云按形状可以分为三大类:旋涡星云如仙女座星云、三角座星云与猎犬座星云;椭圆星云如仙女座星云的附属星云;无规星云如作为银河星系的两个附属星云:大小麦哲伦星云。

这个新领域经哈勃努力探索,在 1925 至 1935 的短短十年之间便达到威尔逊山大望远镜所能拍摄的河外星云的极限。他开始用造父变星与夏普勒求球状星团的距离的方法,去寻求最近的星云的距离,这些星云和银河星系组成所谓“本星系群”,现今已知这群内有二十几个成员。

由这里出发,他更寻得这些星系里最亮的超巨星的绝对星等,因为这些超巨星比造父变星明亮很多,所以可以用来测量更远的星云的距离,于是达到了 1 000 万光年那样遥远的距离,在这样远的距离,100 英寸口径的大望远镜还可以显示河外星系里最明亮的超巨星。比较距离稍近的空间(大约在 800 万光年以外),室女星座的方向上有一个大的河外星系团,哈勃利用这星系团求得一个标准星云的绝对星等。他于是说明大多数河外星系的绝对星等大约是太阳的绝对星等的 1 000



天琴座环状星云 M57

最著名的行星状星云,位于天琴座中织女星附近,距离 2 000 光年。中心的白矮星放射出均匀而对称的光,使星云的姿态完美对称。不久前由直径 8 米的红外望远镜曾捕捉到了这个星云物质向外扩散的晕环,这是以前所不知道的。

万倍到 1 亿倍之间,这样就可以得到一个判别的方法去估计遥远的星系团里的星云的距离,即使那里无个别的恒星可被看见。哈勃使用这个方法迅速地将伟大的河外宇宙探查到了 5 亿光年的距离。他估计在这伟大的空间的范围内有像我们的银河星系那样的星系 1 亿个之多。

河外星云和银河星系是不是严格的相似,在 20 世纪 30 年代还是一个备受争执的问题,夏普勒求得我们星系的直径是 30 万光年,但哈勃对最大的旋涡星云(如仙女座星云)的直径,求得的数字只有 3 万光年。可是在 1930 年以后,这差异虽然没有完全消除,但已经算是大大接近了,一方面因星际物质的发现,使银河系的范围缩小很多,另一方面由对星云所做的精密的光度观测,才知道它实在比仅从视查照片而



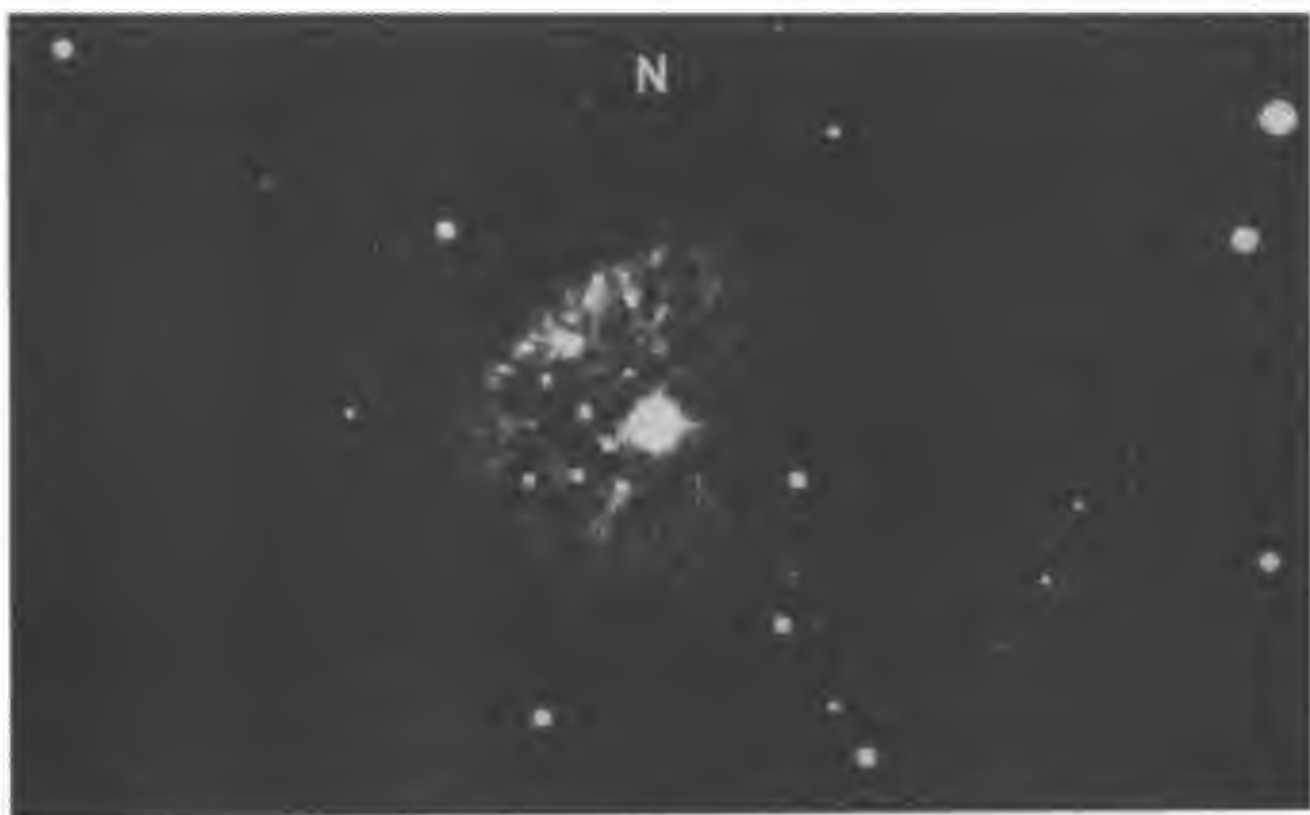
甚大望远镜(欧南台)

推得的大得多。虽然这样,我们的星系仍然像是最大的旋涡星云。这种满足人类虚荣的看法,在天文学家眼里总是可疑的,最近的工作说明这个观念是虚妄的(第七章 § 51)。

同时由旋涡星云自转的分光研究估计出这些星云的质量,在数量级上和银河星系的质量是相同的。例如三角座星云或仙女座星云的质量[1939 与 1942 年首先为美国天文学家巴布科克(H. W. Babcock)、怀斯(A. B. Wyse)、默耶尔(N. U. Mayall)与阿勒耳(L. H. Aller)在里克天文台所测得]的数量级是几十亿至几千亿倍太阳的质量。

对旋涡星云作进一步的研究,使我们认识一类新的变星,从前认为是新星,现在才知道是宇宙里最猛烈的爆发,名叫“超新星”。因为几个旋涡星云的距离一经求得以后,我们便知道如果将仙女座星云里的暗新星当做是像银河系里那样的常态新星,那么因为 1885 年的新星(第五章 § 37)的极大亮度要比通常新星亮 10 000 倍,它必定是另外一种新星。在别的旋涡星云里还观测到另外几个例子,所以我们须得承认有一种特殊的,比通常新星明亮得多的天体。

自 1936 年开始,兹威基(F. Zwicky)在帕洛马山使用汉堡天文台光学家施米特(B. Schmidt, 1879 ~ 1935)所发明的一种新型照相望远镜,



1901 年英仙座新星周围的星云气

系统地寻找超新星。兹威基用这仪器在几年内发现了几颗超新星,经威尔逊山的巴德与哈马森(M. L. Humason)加以仔细的研究。他们说明超新星的光谱和别的天体的光谱完全不同,它的辐射的来源还是一个谜。大家相信这些辐射是非常高的温度和速度的结果。超新星的绝对亮度大得惊人,因为它在最亮时比太阳要亮 1 千万至 1 万万倍,换句话说,一颗超新星在最明亮时所发出的光量,等于银河系 10 亿颗星的总共光量。

可是这种奇异的恒星爆发是很罕有的,1940 年兹威基从观测推出在每千年内每一星系里平均至多只有两颗超新星出现,虽然在某几个星云里不及 50 年的时间内有过两三颗超新星经人观测过。

由此可以推论最近 1 000 年内我们的银河星系里有三类超新星出现,其中一颗即是 1572 年使第谷着迷的异星(第二章 § 9),另一颗是 1604 年经开普勒证认的亮新星,第三颗的出现曾经记载于中国和日本的历史之内,^①这颗超新星的残余现在还留在天空,即纤维状的气体星

^① 按《宋史》：“宋至和元年五月乙丑(即 1054 年 6 月 10 日)客星出天关东南，可数寸。岁余消没。”

日本《明月记》：“天喜二年四月中旬以后，丑时客星出嘴参度，见东方，孛天关星，大如岁星。”——译注

云,称“蟹状星云”,因其特殊形态引起天文学家的注目。这些奇怪的天象的来源还很不明确,有些天文学家以为是星在演化里经过如白矮星那样的不稳定阶段,猛烈崩溃的结果。

最后,我们必须提到由河外星云的研究得知的一个很特别而且料想不到的现象:宇宙的膨胀。上面说过(第五章 § 36)自 19 世纪末以来,天文学家应用多普勒效应能够测得恒星的视向速度。视向速度导引出一些发现,例如银河系的自转。一般说来,天体的视向速度的数量级是每秒几十千米,可是旋涡星云的视向速度最初测定的一批,即表现出令人料想不到的极大的数值,数量级达每秒几百乃至几千千米之巨。



棒旋星系 NGC1365

典型的棒旋星系,位于天炉星座。距离 6 000 万光年。

旋涡星云的第一个视向速度于 1912 年由 V. M. 斯里弗尔在洛韦耳天文台对仙女座星云作长时间的露光而观测得到的,1914 年他刊布了 13 个旋涡星云的视向速度表。他注意到这些速度绝大多数都是正的,这说明旋涡星云有一种迅速的退却运动。这奇怪的现象,经过了十几年没有得到解释。到了 1929 年哈勃首先估计了旋涡星云的距离以后,他表明退却速度和星云的距离按正比例而增加(图 24),于是才

澄清了这个问题。他就这样发现了河外星系退却的奇特现象,这可算是宇宙膨胀的基本表现。^① 这一发现于 1930 年以后经威尔逊山哈马森的观测完全证实,他用高速的摄谱仪量得远至 2.4 亿光年的星云的视向速度,好像哈勃的关系可以达到观测的极限而仍有效。在这样远(24×10^7 万光年)的距离处观测到的退却速度达 42 000 千米/秒,约当光速的 $1/7$ 。这些观测在比利时数学家勒梅特(G. Lemaître)于 1927 年所刊布的理论得到解释,这是根据普遍相对论研究宇宙的一般构造得出的一种宇宙论。

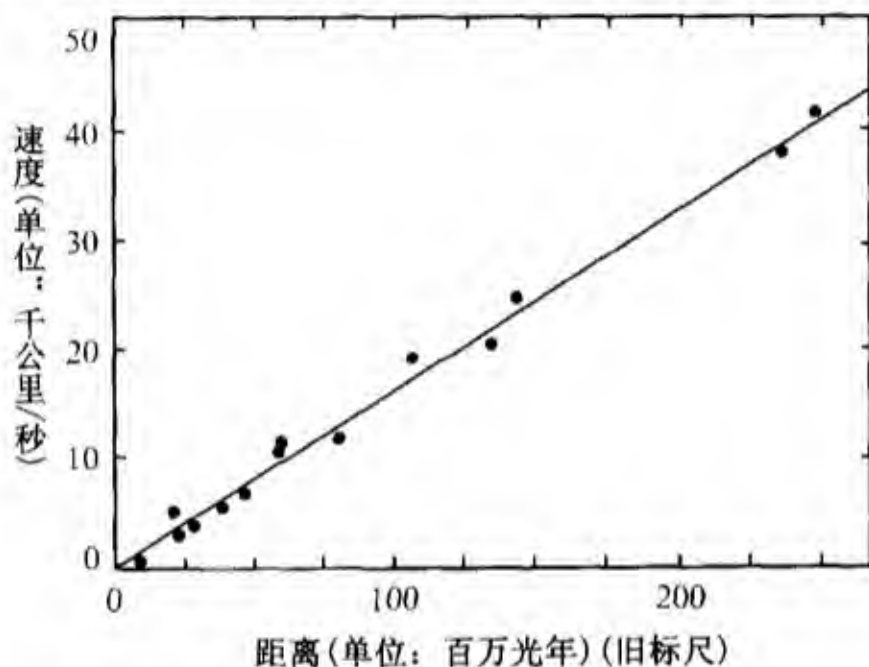


图 24 宇宙的膨胀(按照哈勃与哈马森的研究,1936)
河外星云距离与退行速度之间的关系

由爱因斯坦的普遍相对论,推得宇宙就其整体而论是一个均匀的四度体系(三度属空间,一度是时间),它是一个有限而无边的“多维球”(hypersphere)。爱因斯坦在稳定平衡的假设下去测定这样一个球形宇宙的半径。但是这样须使由万有引力而来的吸力和宇宙间的一种驱力(这是无物质空间的一种性质,在方程式内是欲得平衡解的一个附加项)恰好严格地互相抵消。人们跟着就知道这样的平衡是不稳定的,即使从前有一个时期是稳定的,也不会维持很久,所以现实的宇宙在非稳定、不平衡的情况之下,换言之即是在收缩或者膨胀。1917 年荷兰天文学家德·希特尔(W. de Sitter, 1872 ~ 1934)即说明爱因斯坦

^① 只要思索一下,便会了解河外星系的退却并不意味着银河星系居于中央的位置,因为别的星系上的观测者也会感觉到相同的现象。

方程式的一个解答是在膨胀中的空虚宇宙。

1927 年勒梅特首先研究半径变化,但非空虚的宇宙,是可以代表现实的宇宙的。到了 1930 年这理论才引起大家的注意,因为爱丁顿说明勒梅特的理论和哈勃发现河外星系的退却现象两者之间的关系。

如果我们使用宇宙里物质的平均密度的估计值(在 1 立方米和 1 立方分米之间的容积内有一粒氢原子),我们便可从勒梅特的理论计算出宇宙现今的半径,数量级在 50 至 100 亿(10^{10})光年之间,总质量是几百亿个银河星系的质量。由此可见哈勃用 100 英寸望远镜所探索的空间的范围还不到整个宇宙的总容积 1/10 000。这结论也可使从事这一研究的人明白从这样有限的范围得来的观测资料所推出的理论,应当很谨慎地去看待它。



世界最大的反射望远镜

口径 5 米,在加利福尼亚州帕洛马山。

为了尽量消除这种局限性,赫耳便于 1928 年开始筹备制造比威尔逊山 100 英寸口径更大的望远镜。赫耳将他生命中最后十年的时

间用在筹建拥有最大望远镜的新天文台(这是他事业中的第三个天文台)。具有 200 英寸(5 米)反射镜的巨大望远镜,经过 20 年的工夫,费去 600 万金元才制造成功,这座望远镜便是有名的赫耳望远镜,装置在南加州的帕洛马山上,于 1949 年开始使用,这是望远镜制造史上最艰巨的成就。使用这望远镜去研究河外星系和它们的退却速度,最初所得的结果,将在最后一章中谈到。

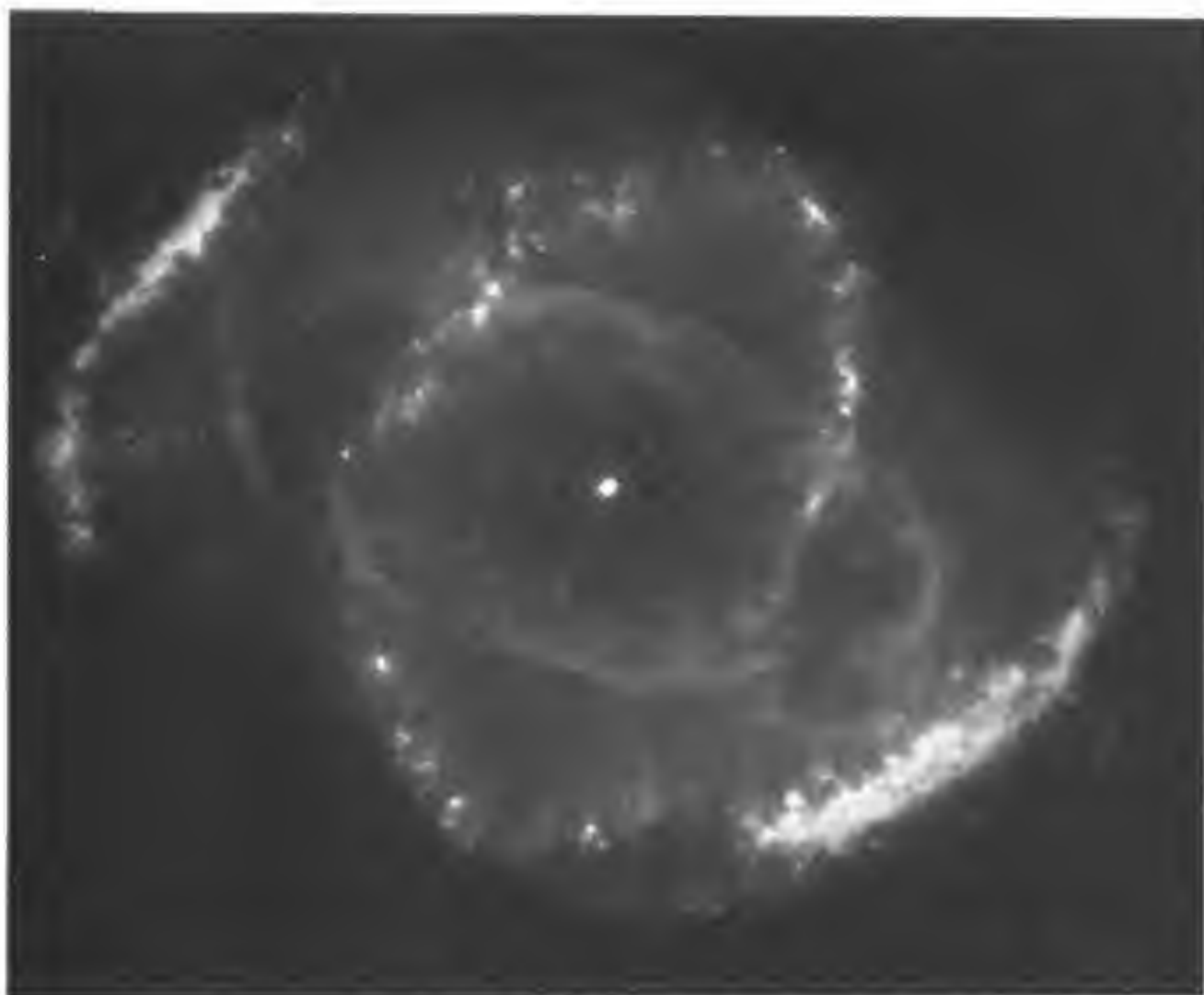
45. 近代的宇宙论和宇宙演化论

自从哥白尼的改革使人们抛弃了原始人粗陋的宇宙观以后,解释天体以及整个宇宙的起源与演化的问题便纳入科学理论的领域之内去了。可是经过很久,一直到最近,人们所作出的宇宙演化论,范围仅局限于太阳系的起源和行星的形成等问题的解释。

经过整个 19 世纪,康德和拉普拉斯的星云假说是一般人所公认的,可是慢慢地人们觉察这假说上有它难以自圆其说的内容。在 20 世纪之初便有人提倡另外的理论,例如 1901 年美国地质学家张伯林(T. C. Chamberlin, 1843 ~ 1928)与天文学家木耳顿(F. R. Moulton, 1872 ~ 1952)所提倡的“微星假说”是值得一提的,这是布丰(Buffon)、比克顿(A. W. Bickerton)等人的行星从太阳分出的论点的发展。这理论假设有一颗星曾经接近太阳,那时生潮的力量将太阳上一小部分物质吸引出去。这些物质凝聚成小的行星状的天体,循相同的方向环绕太阳运行,这些物质后来和大块的物质结合为一体,便是行星形成的机制。

10 年以后,英国理论家秦斯(J. Jeans, 1877 ~ 1946)更阐发了这个假说,并于 1916 年刊布他的行星起源的理论,在以后 20 年内引起人们很大的注意。因为银河系里两颗星接近的机会非常之小,所以秦斯的理论便意味着行星系是极其稀罕的结构。但这结论和观测发生了矛盾,因为在 20 世纪 30 年代里,瑞典的霍姆白格(E. Holmberg)与美国的斯特兰德(K. A. Strand)等人观测到一些双星的伴星的运动受到微小的摄动,这意味着有不可见的质量和行星相似的小星的存在。这样的观测虽然很困难,但是在少数例子上终于得到成功,说明行星系也许是很寻常的结构,比秦斯的理论所假定的一定要多得多。

事实上我们很难了解从太阳分出的炽热的物质怎样会凝成行星,1939 年美国天体物理学家斯皮泽尔(L. Spitzer)证明在太阳的高温下,



猫眼星云 NGC6543

位于天龙座内的行星状星云,由哈勃空间望远镜拍摄的这些照片,造形优美奇特,一时间世界书刊竞相刊载,都把它叫做猫眼星云。中心是蓝“眼珠”,还有红色的双螺旋“眼球”,外围是绿色“眼毛”。其实它是一颗恒星衰亡之前的回光返照,以它自身的死亡换来星光的辉煌。不同元素放射不同颜色的光:红色为氢、蓝色为氧、绿色为氮。

分出去的条状物质是极不稳定的,从太阳分出后只需几分钟便破裂分散于空间。

最近 20 年内有很多太阳系起源的理论经天文学家、物理学家,或地质学家提出,例如英国的利特耳顿(R. A. Lyttleton)、法国的道维利耶(A. Dauvillier)、德国的魏扎克尔(von Weizsäcker)、苏联的施米特(O. J. Schmidt),最近还有美国的尤雷(H. C. Urey)和柯伊伯。他们多半是努力综合星云和微星两个假说中的优点。魏扎克尔于 1943 年所倡导的理论最引人注意,可以当做是现今趋势的一个范例。根据这个理论,行星是由环绕太阳运动的气体和尘埃的扁平包壳而形成,至于这包壳的来源便没有讨论。在这包壳里,因旋涡的相互作用,而形成凝结的

核心。这理论的最有趣、最显著的成就当是由原始星云内旋涡的几何分布去解释关于行星距离的波德定律(第三章 § 19)。

虽然这理论后来更有改进,可是行星形成的确实经过,大部分仍然是一个疑谜,现今争论中的这些理论,我们难保其将来不被淘汰。

可是在近 20 年内宇宙演化学者们的注意力却转到更伟大的问题,即是原子、恒星、星系乃至整个宇宙的形成与演化的问题。因宇宙膨胀的发现和由地球与银河星系的年龄的估计所表现的宇宙演化的速度的认识,扩大了这些学者们的雄心。

我们已经了解在几十亿年以前,宇宙必定经过一个“星前期”,那时物质受着很高的温度与压力。1941 年昌德拉塞卡将原子核和基本质点间的已知反应加以讨论,大体说明在这些情况下在宇宙里所应有的各种元素的相对含量,与物理学、地球物理学和天体物理学最近的知识大致相合。从那时以后,这些计算经过很多人的改进,可以算是现今宇宙论上最显著的成就,这也是星前期宇宙超密集情况的事后证明。

早在 1932 年勒梅特便假设有这样的情况存在,他的“原初原子”的假说可算是从来未有的最远大的宇宙演化论和最广博的宇宙论。这理论以近代的天文发现及物理学的基本原则为根据,假设在 50 或 100 亿(10^{10})年以前宇宙里所有的物质都密集成为一个巨大的核即超密集物质的“原初原子”。这样基本质点的集团只能是极不稳定的,原初原子极其凶猛地爆炸开来,像一个超放射物的巨核那样,经过一系列的蜕变,逐渐使物质散开,终于形成各种天然的元素,现今尚存的放射元素可以说是久已消逝的不稳定的核的残余后裔。从空间各方来轰击我们的仍然是谜的“宇宙线”,可能是原初原子的放射性辐射极稀薄的残余,自世界开始以来,这些辐射便在相对论的闭合宇宙里不息地运行。

在这原始爆炸阶段以后,物质的膨胀便会被中央高度密集物的引力迅速地弄得缓慢下来,于是在 30 或 40 亿年以前便经过万有引力和宇宙驱力两者形成的准平衡的阶段(图 25),这便是爱因斯坦宇宙的特征。星系、恒星和行星便在这缓慢阶段里形成,因为那时宇宙物质的平均密度(比现时大 1 000 倍)有利于气体云和宇宙物质之间发生一种适宜的相互作用。可是当膨胀运动继续进行,物质的平均密度逐渐降低的时候,宇宙的驱力终于胜过万有引力,世界再进入现时的膨胀阶



人马座里的气体星云 M8

这个典型的气体星云内有着纤维结构的发光气体和有名的黑色球状体。据波克的研究,这些球状体便是在形成中的恒星。

段,如是进行下去没有止境,终于成了无限稀薄的德希特尔的空虚宇宙(图 25)。

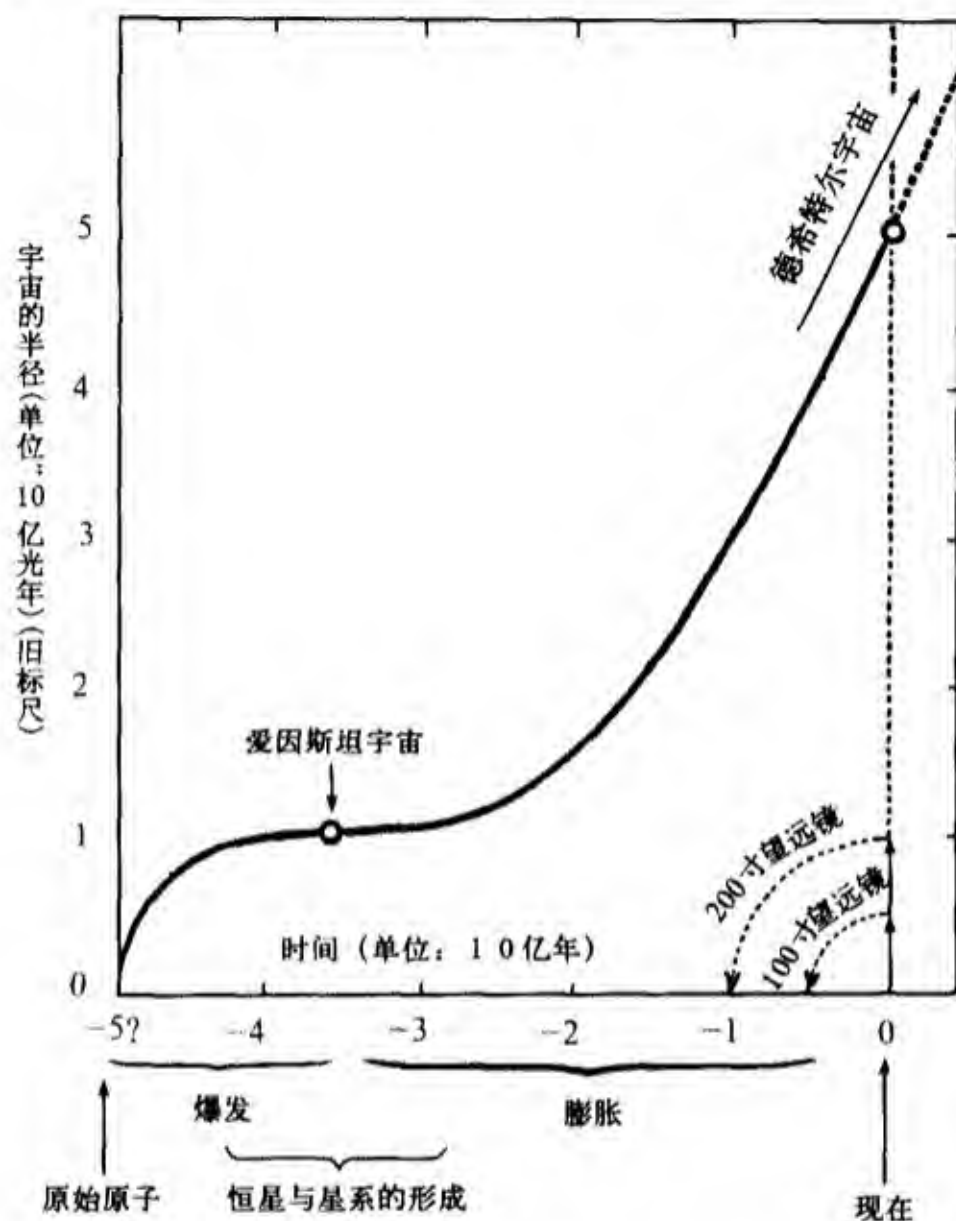


图 25 宇宙演化的主要阶段(按照勒梅特的宇宙论)

右下方的箭头和箭头在水平轴上的投影,表示威尔逊山和帕洛马山大望远镜所能达到的极限(空间与时间)。(战前的距离标尺)

这便是勒梅特所描绘的关于宇宙起源与演化的惊人图画,以后他更将各种特殊天体的演化合并在他的体系中去。这种关于演化的始终的理论自然具有高度的假设性和臆测性,将来的发现很可能迫使我们纵然不完全放弃也会大大地修改这种理论,可是这应该算是现今最广博的宇宙论了。

这也绝不是大家公认的宇宙论,最近在英国又有人提倡别的宇宙论。例如 1948 年戈耳德(T. Gold)和邦迪(H. Bondi)所提出“连续创造”

的假说,以后更由剑桥霍艾耳(F. Hoyle)把这假说和相对论联系起来。根据这一理论,宇宙的膨胀并不发生于不变的质量的假设之下,而生于不变的密度的假设之下,这样便需有物质继续生成在空间之内,可是如此生成之量过于微末,不能用观测去探测,这样,一般经验里物质常存的原则仍然是有效的。这些假说的前途惟有将来的发现可以决定,但是我们不得不赞扬发现和理论的相互帮助,还不到半个世纪它们给我们所昭示的宇宙,就其美丽、丰富和伟大而言,绝非我们的祖先所能梦想得到的。

自二战结束以来,由于探测宇宙出现了新的方法,更由于使用 200 英寸(5 米)口径反射望远镜将战前的结果加以彻底的修改,因而得出许多惊人的发现,这一切都可能使以上所说的各种宇宙论和宇宙演化假说,不久便成了过时的论调。本书的最后一章将要对最近的进展加以简略的叙述。



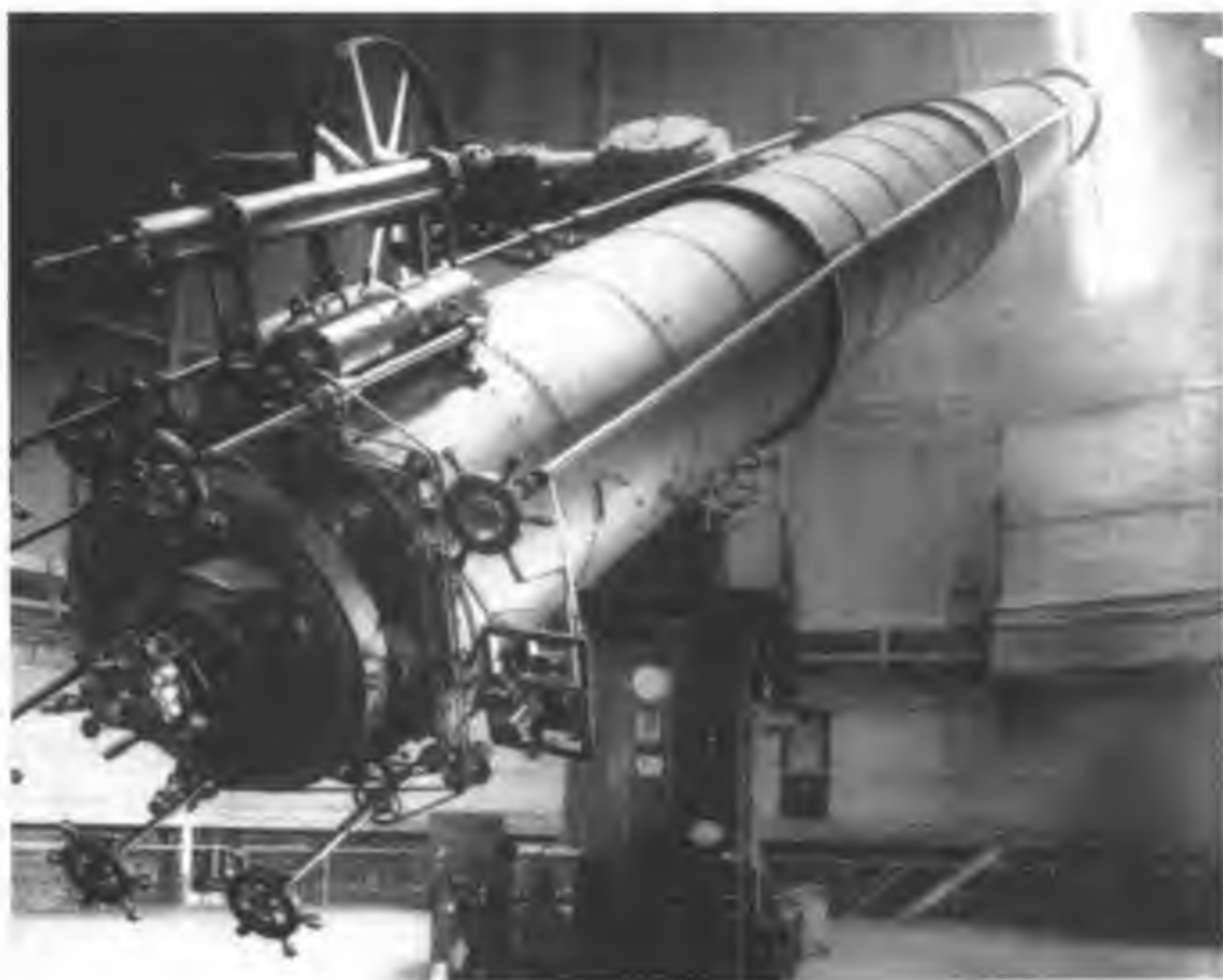
第七章 当代天文学：二战后现代天文学的进展

46. 仪器的改进

最近几年间天文仪器和它们的附件与观测技术都有相当大的改进,这样就必然会改革天文研究的方法,增加观测的效率与范围,因而影响我们对宇宙现象的认识与理论。

大望远镜 在经典的光学仪器方面,反射镜的制造愈来愈大,最大的一具口径达 200 英寸(5 米)。这座以赫耳命名的望远镜于 1949 年冬装置在帕洛马山开始正常的工作。由这望远镜观测到的一些显著的结果将叙述在以下几节之内。还有几座稍小的巨型望远镜亦曾装置在别的几个天文台里,例如里克天文台的 120 英寸(3 米)反射镜完成于 1956 年,格林尼治天文台的 98 英寸(2.45 米)纪念牛顿的望远镜现在正在制造之中。还有两座 74 英寸(1.85 米)的标准反射镜装置在非洲的腊德克利弗(Radcliffe)天文台(1948)与澳洲斯特朗洛山的联邦天文台(1955)。同型的望远镜将装置在埃及黑耳文和法国南方天文台内。为在南半球修建一座国际天文台,有人计划在南非装置一座 3 米口径的望远镜,再加上上面所说的腊德克利弗和斯特朗洛山的两具大型望远镜,可以将两半球上仪器分布不均匀的情况消除一些。印度和日本也正筹备装置巨型反射望远镜。

在 20 世纪 30 年代里因施米特型望远镜的发展,天文学家掌握一种有力的仪器,去探测天空的广大区域,因而便有双色(蓝与红)摄影星图的拍照。这计划由美国地理学会提出,用帕洛马山的 48 英寸

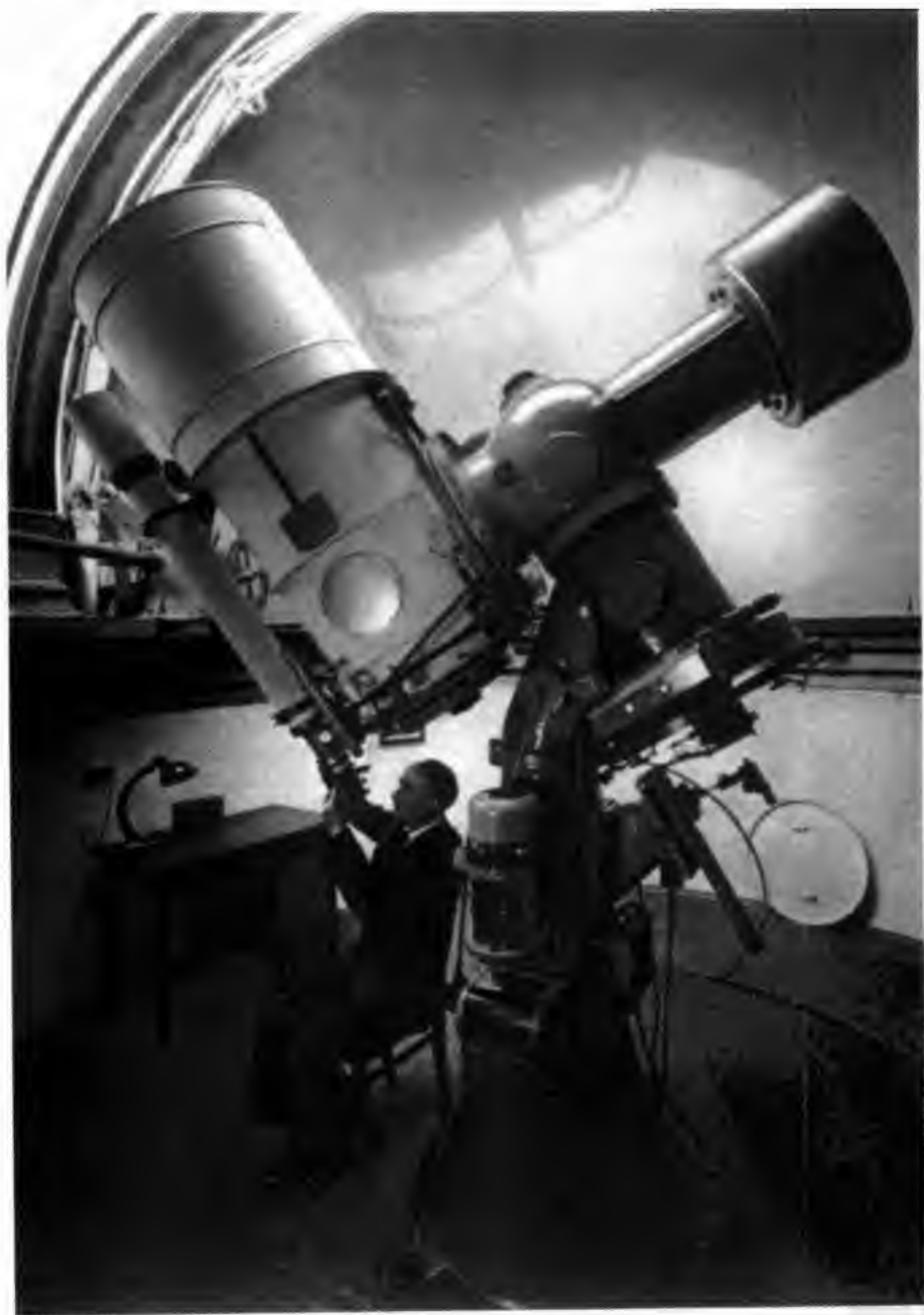


世界最大的折射望远镜

口径 102 厘米, 焦距 19 米(在叶凯士天文台)

(1.2 米)施米特望远镜工作,应于 1956 年完成。这一套帕洛马山的巡天摄影图将是从来未有的最完善最均匀的天图,经历短暂的七年时间便成功了,达到第 20 照相星等的星,包括 $3/4$ 个全天,有星至 5 亿(5×10^8)颗之多,可以供给两代天文学家以丰富的研究资料。现时迫切的需要便是将这工作扩充到帕洛马山所不能达到的区域(-3° 以南)。南半球上现有的两座施米特望远镜可以完成这一任务。一座是哈佛大学和爱尔兰两个天文台(Armagh 与 Dunsink)在非洲布洛方顿(Bloemfontein)所装置的 A.D.H. 望远镜以及装置在澳洲联邦天文台的同样的望远镜。还有一座 26 英寸(65 厘米)口径的施米特望远镜于 1942 年便开始在墨西哥物理天文台工作,那里的纬度适宜研究到天球的大多数区域。

仿照施米特望远镜的原理制成的小型仪器,例如在苏联制成的马克办托夫望远镜和在美国完成的贝克尔望远镜(或称“超施米特”照相镜)被用来观测银河星云与流星,得到显著的结果。施米特照相镜的



施米特—马克苏托夫照相望远镜

原理在分光摄影的领域里也有许多应用,因为更有效地拍摄暗星和星云的光谱,短焦距的光具组是需要的。自斯特鲁维开始使用于叶凯士天文台的星云摄谱仪以研究银河内暗淡星云气以来,施米特照相镜对银河星云和河外星云的拍照都是很有用的,具有各种口径与焦比的一套施米特望远镜是 200 英寸望远镜必需的附件。近年来发展有另外一种广角照相镜(亨利—格伦斯顿屈折光具组),由球面反射镜所形成的天球的缩影为一小型快速的照相镜所拍摄,于 1951 至 1952 年间在凯士天文台探寻到银河里很广大而又暗淡的发射区域(参看 § 50)。



世界最大的射电望远镜(直径 300 米)

光电技术 在望远镜的附件方面,因使用光电管与光电倍加管,获得了很大的进步。天文上的光电光度的实验工作早在本世纪的前

20年里,就由美国的斯迪宾和德国的古特尼克(P. Guthnick, 1879 ~ 1947)做过,后来有很多人继续下去。但是直到第二次世界大战以后,光电技术在天文研究上的贡献才得到天文工作者的公认。在这一进步中,技术上的重要改进有热离子管放大器的完成(1932年惠特弗德首先使用于恒星光度上)和兹沃里金(V. K. Zworykin)所发展的电子倍增器,这两个零件在战后解禁,才装置在R.C.A.的光电倍增管内,去做恒星光度的测量工作。

自此以后凡是需要高精密度的地方,光电光度法大大地代替了照相光度法,例如星等标准的建立,从北极星序迁移到别的星区(特别是南天星区)的星等的测定(这是很困难的问题,以前的方法没有得到令人满意的解决),又如对于食变星与造父变星求高度精密的星等—颜色曲线(§49),还有将片光源(星云、星团)和点光源的恒星加以比较。至于别的细微的现象,为以前的光度方法所不能观测的,现在却可加以严格的分析。举几个例来说,如霍耳与希特内尔在1947至1948年对远星光里偏振的发现(§50),埃根(O. Eggen)于1949至1950年对赫—罗图上的精细结构的探讨(§49),斯迪宾与惠特弗德于1949年对于暗星的多色光度测量,因而更精密地测定星际物质的吸光曲线,约翰生、摩根与斯冲格林(B. Strömberg)自1952年以来,利用几色的精确窄带的光度测量,对亮星作了光谱与光度的分类。

光电管和光电倍增管在附属仪器上的应用,举其显著的有H.W. 巴布科克于1948年所发展的自动导星装置(现今已成为威尔逊山和帕洛马山两天文台的标准装置),这装置使天文工作者在长时间的拍照里免除眼和手的劳苦。1952年巴布科克和他的儿子改进了“太阳磁力记录仪”,这个奇妙的仪器利用塞曼现象使谱线变宽的偏振效应,将太阳表面弱磁场所引起的变化连续地表现在阴极射线管的荧光屏上。自动记录显微光度计和等光记录器均被人设计制造出来,这些仪器可从照片上将光谱上的谱线强度自动描出(不像从前根据照片上的致黑度更加以冗长的归算,以求谱线的强度),或对于一个片状物像(如耀斑、星云等)描出光度分布的轮廓(等光线)。这些仪器大大增进了照相观测的价值,得将照片上所蕴藏的知识尽量地探索出来。

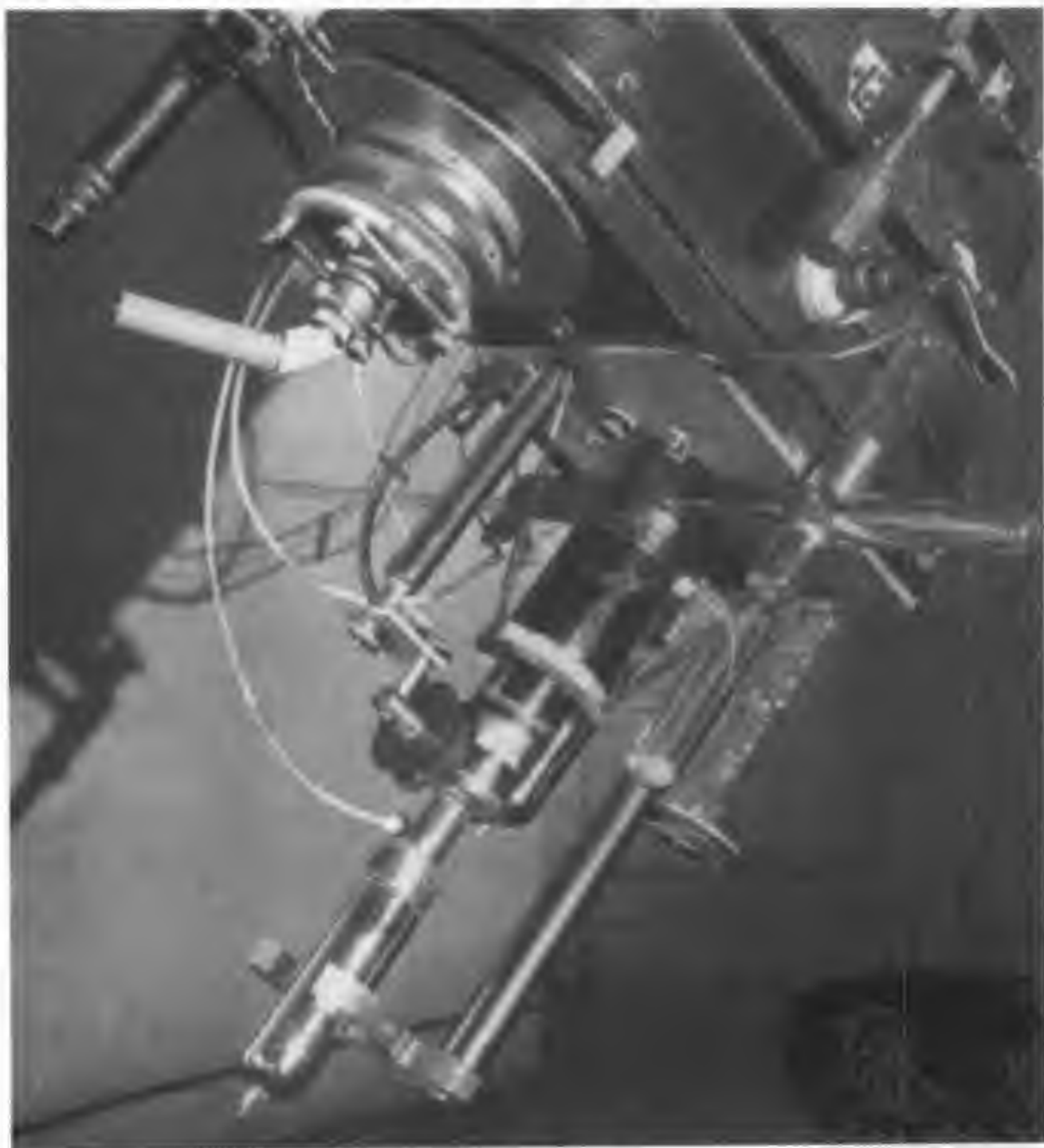
光电管和伺服机构(servo-mechanisms)的另外一种重要的用途(这一次是关于天体测量的问题),便是使用一种自动的测量机器,将耶鲁大学天文台的星表的工作记录出结果来。这一测量机器于1954年完

成,测定大型照片上的星象的两个坐标,精确度与速度之高远远超过用人操作的仪器,它能将结果自动地记录在洞卡上,储蓄为将来之用。于是编制星表与寻求自行的冗繁工作,不但增加了速度,也增进了精度。根据相同的原理也有人设计出星象计数器,使照片上预定的某些星等范围内的星,得以自动记录出数目来,同时照相光度计在精确度与使用方便上也都有改进。

一种极有前途的新技术便是使用高速计算的机器,如洞卡计算机或电子计算机,去解决天文的问题,如轨道的计算和行星运行表的编造。一个显著的例子便是1950年以数字积分的方法重新计算五大行星(木星至冥王星)在407年间(1653~2060)的运动,主其事的人是美国海军天文台的克莱门斯、耶鲁大学的布劳尔(D. Brouwer)和IBM公司的埃克尔特(W. J. Eckert)。这工作是用IBM的选择序列电子计算机(简称S.S.E.O.)做成的,总共有1200万次运算之多。这工作表明自18世纪中叶以来天文工作者对这五大行星所积累的两万多次观测,比半个世纪以前希耳和纽康经历一生所算出的结果还要完善很多。根据这些结果所算出的下一世纪五大行星的位置,像刊布在英、美、法、德等的天文年历之中的,将会与观测更是相合得多。据估计“一位计算人使用电子计算机,每星期工作40个钟头,需要80年,才能做完这一工作,还须假设他不算错一次”,电子计算机比这位计算人快1000倍,为了防备错误,所有的计算都做两次,如遇不合的情形更作第三次的校核。自那时以后有更快速的机器出现(例如IBM701型,比以前的S.S.E.C.型快25倍,而且体积只有其1/4),这样使人敢去做更冗长更繁复的从前所不敢着手的计算。

电子学的另外一种用途,将会对天文学的进步有极大影响的,便是“电子望远镜”。这仪器于1936年为那时在法国斯特拉斯堡天文台工作的拉耳芒(Lallemand)所试用,自大战以后他在巴黎天文台更加以改进。这是一个用电子增强成像的仪器,在这仪器上通常望远镜所成的像经放大后投射在一个半透明的光阴极面上,由那里所放出的光电子,据电子光学的方法,像在电子显微镜里那样,加速聚焦在一张照相底片上面。这种操作的目的在于增加使照相乳胶变黑的能量,能量的增加是由电子在30000伏特的电场内加速而来。1952至1953年拉耳芒在巴黎天文台所拍得的恒星和土星的电子照片比在同一望远镜里用光线拍照,要快100倍。但是要将这个方法应用到经常的天文观测

上去,还须作进一步的研究,而且设备复杂,也不是一般天文台所能具有的。可是这是极有前途的方法,因为在恒星天文学的许多方面,光亮微弱使照相乳胶不起作用是一个严重的障碍,自从用望远镜拍照以来,天文工作者便百般努力要克服这个障碍。



拉耳芒的光电象管

同一仪器装置在折射望远镜上面(巴黎天文台)。

在这一努力中,另外一个成功当是帕洛马山的波姆(W. Baum)于1953至1954年间所完成的“光子计数光度计”。光子计数的技术,以前已经有人用过(如1948年耶茨在剑桥所做的工作),这技术应用到亮星测光上却不大有意义,虽然习用的光电光度计在这方面使用既方

便,而又令人满意,可是在200英寸望远镜上对极微弱之星的测光,光子计数光度计便显出它的优越性。因为直流电的记录对20或24等星不起作用,但从倍加管的光阴极面而来的个别电子所生的脉冲的积累,不但可以探寻,而且可以测量到23等星至需要的精度,换句话说,即是可以抵到200英寸望远镜所能拍摄到的最微弱的恒星。事实上光子计数光度计可能测量到25等的暗星,只是这样暗的星不能拍摄在照片上,无法确定它的位置。因为要拍摄这样暗的星,夜天光的亮度就成了长时间曝光的障碍。

我们不能在这里将近年来光电效应和电子技术在天文上的应用——加以叙述,但是我们须提说一下硫化铅光电导管,这仪器使我们能够考查太阳的红外光谱,达到3微米的区域,对行星的光谱达到2微米的区域。有人将这技术应用到恒星光度上去,但除了最亮的恒星之外,因灵敏度低,不能普遍使用。放大技术的进步也许在最近的将来可能改变这个情况。对恒星光谱上能量分布加以直接的光电记录(至少对亮星而言),已经在几个天文台加以实验,而且获得成功,可以代替由照相的方法借分光光度测量,以求恒星的温度(包温度)与光谱型,在这方面差不多每年都有新方法出现,慢慢地代替了照相乳胶,使其不再是“天文学家的视神经”了。可是,惟有照相底片才能永远地和正确地记录下无数恒星的位置与亮度,以供人们将来的研究,这是照相术不可胜过的优点,现在还不能够看见它有被电子技术代替了的迹象。而且因电子望远镜等的附件的发展,照相术的价值必定会更显著的。

高空观测:因相关部门的仪器的发展,天文学也得到不少的好处,使用火箭测探高层大气,对太阳的紫外光谱获得很多新的知识。我们曾经作过发射人造流星的实验,由天文的研究得知发射人造卫星是可能的,因此有几个国家筹备进行这一工作,不久便可见诸事实。^①我们可以附带说一下,在近几年内关于星际航行与空间旅行的文章刊布得很多。

我们应该提到李荣(H. Lyons)和他的同僚在美国标准局所制成的“原子钟”,这仪器可能使授时的服务工作从天文工作者转移给物理工

① 美国和苏联拟在国际地球物理年期间(1957~1958)发射人造卫星。——原注
事实上苏联已于这期间发射出三颗巨型人造卫星,美国发射出几颗小型人造卫星。——译注



月球巨岩

1972 年地质学家在月球巨岩旁，他的月球车在右方远处。

作者去担任，也许这还不是今天就能实现的事。可是在实验室建立一个可以复制而且稳定的时间基本标准，对于核校新定的天文时（历书时）是有很大的价值的。在天文与物理的不明确的分界上所达到的新的精确度可以提到的有，用光电和射电的方法测量光的速度，终于求得这基本常数的数值（在真空中 $c = 299\,792$ 千米/秒），又如作为相对论基础的迈克耳孙—莫勒的实验，因使用共振腔内射电驻波，提高了精确度，曾被英国标准局实验室的埃森（G. Essen）重新做成（1955）。

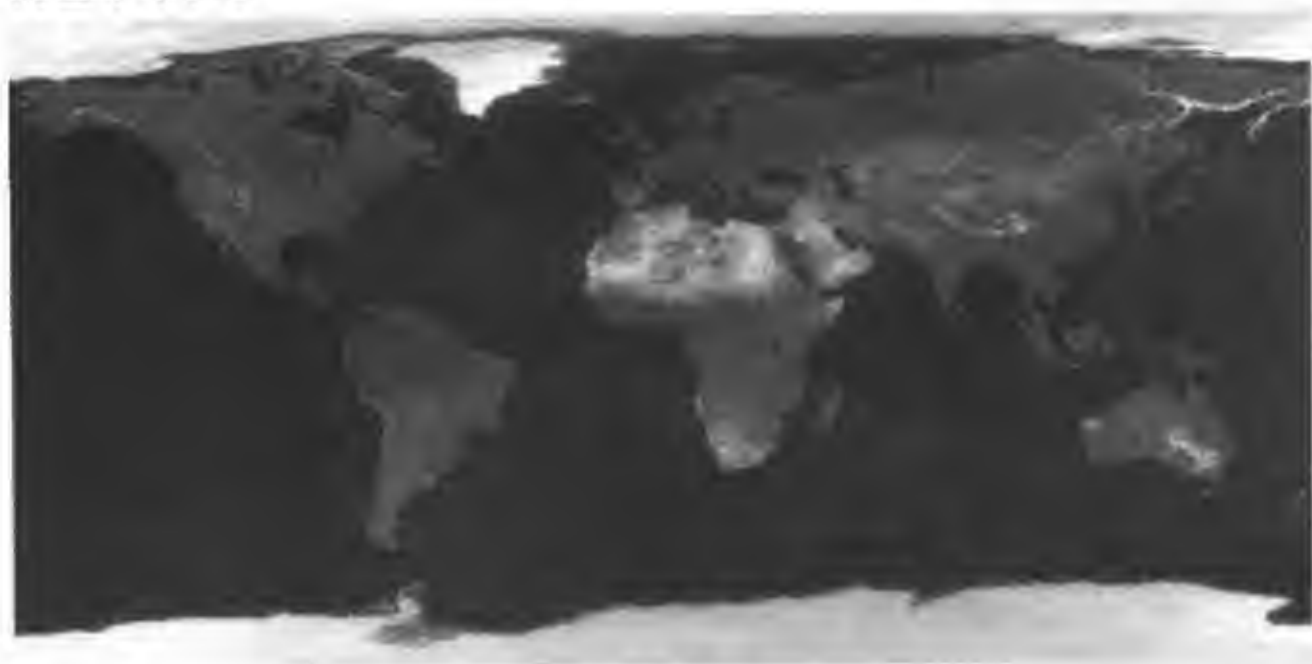
这一切进展，比起射电天文那门新科学的辉煌成就，都变成渺小的了，因为自大战结束以来，射电天文所表现的宇宙是我们从前所没有料想到而今天还不很明白的宇宙，在天文学与天体物理的各个分支上，正以革命式的步调，展开在我们的眼前。在天文的技术和天体物理的理论两个方面，射电天文都形成一个新的境界，值得我们另辟一节来加以详细的叙述，因此在这一章的末尾我们还要谈论到它。

47. 天体测量与天体力学

如果我们以为在最近 50 年天体物理惊人的进步面前，经典天文，像精密地测定天体方位的天体测量与 19 世纪数学家和天文学家所完成的天体力学，都已失去了它们的重要性，那便错了。反过来，经典天

文大大地受到近年来新技术的益处,几代天文学家所不能解决的与无法计算的问题,在近些年内都以出人意料的精确度做成功了。增进了的精确度更表现出理论上的缺陷,使我们对地球、行星和恒星的运动得到更进一步的认识。

地球自转的不均匀性 上面说过,1925年间布朗曾经把月亮运动总不与理论相合的部分原因认定为地球自转的不均匀性,因此我们用以记录观测的时间(格林尼治平太阳时或世界时)不是像天体力学的方程式所需要的均匀前进的时刻。接着,1926年斯宾塞尔-琼斯爵士(Spencer-Jones)因研究太阳和行星的运动,发现有同样的不均匀现象与它们在轨道上的角速度(又叫做“平均运动”)成正比例,而证实了地球自转的不均匀性。1939年斯宾塞尔-琼斯对这问题加以确定的结论,使得在大战以后天文工作者放弃了平太阳时,不再将其用作时间的基本单位。



无云的地球

这是由上千张地球照片中无云的部分拼结而成,显示完整的海陆轮廓。

1950年在巴黎召开的一次国际会议提出月亮、太阳和行星的运行都要表为新的时间单位,这叫做历书时,规定为1900年恒星年的长度。历书时(或准均匀时)与通用的世界时的关系,表示在一个公式内,将地球因潮汐作用而来的长期转缓度和由月亮运行的不均匀现象而暴露的偏差数都一并计算进去。这一建议经国际天文协会1952年大会通过,自1960年1月1日开始使用。

我们应该明白这样的改变并不影响通常所用的时间,世界时或格

格林尼治平太阳时仍然是有效的。它的准确度达一千万分之一(10^{-7}),对于实际应用已经是很够了。但是如果需要更高的准确度如十亿分之一(10^{-9}),像在电波频率的控制或天体力学上相隔几个世纪或几千年的现象的讨论,历书时便可与理想的均匀时间很是接近。

从古代很早时期的日月食和月掩星所测得的太阳和月亮的长期加速度,可以测定因潮汐作用使地球自转变缓的程度,虽然可用外插法去推求未来年代的情况,但是这种不均匀度不能精准地加以预测。1952年耶鲁大学的布劳尔与万·沃尔孔(J. van Woerkom)证明这些不均匀度的分布显然是任意的,换句话说即是它们只遵循机遇的定律,因此这种不均匀度须将月亮的观测位置和由布朗的理论所计算出的位置加以比较,每年重新决定,因为布朗的理论公认为非常完善,由比较而来的误差只可算做是世界时的记时方法上的误差。近两百年来平太阳时与历书时的差异用图表示如图 26。

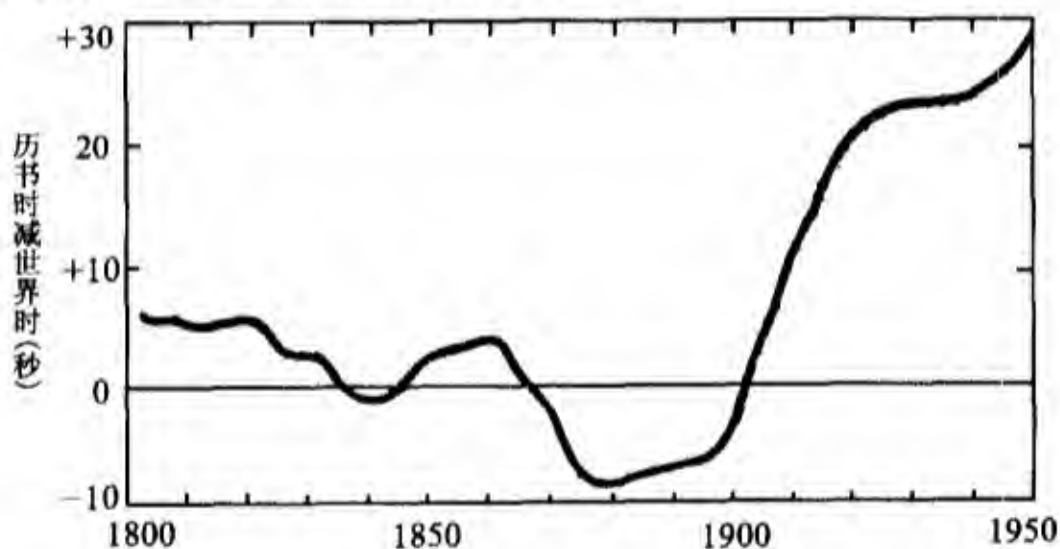


图 26 地球自转的不均匀性

历书时(即均匀时)与世界时(即平太阳时)自 1800 年来的差异(根据布劳尔的研究,1952)。

历书时(在实际用途上可以看做是理想的均匀时)和格林尼治平太阳时之间的差异,可以另换一种方式去说明。既然地球的自转是不大均匀的,那么平太阳继续回转到格林尼治的子午圈上来,不是经过 24 个“均匀时”而是经过 24 个“不均匀的”平太阳时。在 24 个均匀时(或历书时)之后,平太阳不在格林尼治的标准子午圈上,而却在它附近某一子午圈上,这样我们便可规定另外一个本初子午圈,作为平太阳恰在中午所经过的,为方便计,可以把这个子午圈选为是两三百年来

来大致和格林尼治子午圈相合的子午圈。现时历书时的本初子午圈在格林尼治之东约有 8 个时分,但是没有办法确切地推出 50 或 100 年后的数值。^①

行星位置的预测 历书时的采用,目的在于使行星运动的预测更加准确。另外一个办法便是对外行星的运动重新加以计算,这工作是用 IBM 电子计算机经过逐步的数字积分而完成的。这工作的结果再加上地球自转不均匀度的修正值,可以将今后几百年内行星的位置预算到需要的准确度。

这工作刊布于 1951 年,规模的宏大可于下列的数字想像得知:这是对 30 阶非线性的联立微分方程式,求数字的解答,准确度须达到第 14 位小数,所使用的四大行星(木、土、天王与海王)的观测(1780 ~ 1940)约有 25 000 个之多,最后计算出来的位置,自 1653 至 2060 年,每 40 日之间隔内有一数值。这个巨大的计算工作经美国海军天文台台长描写如下:

“人们早已知道这问题可用数字去求解答,但是因为数字计算工作的繁重,在过去认为是不能办到的。这本 300 页篇幅的一册书内载有大约 150 万个数字,但是还不及做积分时放进计算机去与从计算机出来的数字的 1%。计算机对于大数字做了 500 多万个乘除,700 多万个加减的运算。我们还该提到如果在运算里只发生了一个误差,便会使整个计算完全无用。”

月离表 最近电子计算机的威力更施展到 300 年来使数学家头痛的月亮的问题上。布朗方程式里的 1 650 项都放进计算机的“记忆”里去,对于每一时期的位置,计算与严格校验总共费去的时间只有 7 分钟。将这样由基本理论直接计算出来的位置和从布朗的月离表所求出来的位置加以比较之后,发现月离表内有一个没有料到的误差,加以校验之后才明白编制月离表时有一项重算了两次。电子计算机使天文计算不致产生这样人为的误差。

事实上,英、美天文年历中月亮的位置已经完全由电子计算机求出,开始做了 20 年(1952 ~ 1971)的,计有 15 000 个位置,经过了 2 500 万个乘法的运算。如果将这样算出的准确的位置和每年观测的位置

^① 关于“历书时”这个问题萨德勒尔(D. H. Sadler)有文章叙述,载英国皇家天文学会的 *Occasional Notes* 之中(No. 17, 1954)。



火星上的水哪里去了？虽然在火星上还没有找到水，但是种种迹象表明，火星上的确有过水流的痕迹，这就是可以证明的照片之一。这里的水哪里去了呢？是被蒸发掉了，还是流入地下？

加以比较，就能够得出作为时钟的地球的不均匀度，并且得出将平太阳时化为历书时的修正值。这工作已经于 1954 年在瓦特生实验室完成了。

月亮位置的观测 为着尽量利用从理论上增加的准确度，观测技术的精密度也必须有相应的增加。月亮的位置一向依恒星而测定，一般是透过月掩星的时刻记录。当一颗星（更好的是几颗星）被月亮的边缘所掩蔽的时候，月轮中心对于天球坐标的位置，可以推算出来，再和理论的位置加以比较。但是由于天秤动使月亮边缘上的山和谷经

常变化,而造成不均匀的形象,便使得掩星处于月亮的真正半径难以测定,因此由这样观测定出的月亮的位置,准确度便受了限制。

为着克服这一困难,巴黎天文台韦默尔(Th. Weimer)曾利用多年来所拍的照片,将一切可能的天秤动下的月亮轮廓编为详细的月亮图。这一集图总计有月亮东边缘的轮廓 71 幅,刊布于 1952 年。还有一种更详密的月亮图于 1949 年在美国海军天文台编制,这是利用耶鲁南半球站自 1932 年起拍摄的许多照片而制成的。瓦特(C. B. Watts)和亚当斯(A. N. Adams)设计有一种自动扫描机,可以直接考查月轮明亮边缘上放大的轮廓。当 600 至 700 个照片经过这样的扫描和归算之后,于任何天秤动在月亮边缘上任何点所发生的掩星,都可以推得月亮的中心,精确度达一弧秒的几百分之一的数量级。



月全食美景

月全食时,月面染上了一层玫瑰红或古铜色,十分漂亮而神秘。

同时以光电的方法记录掩星的时刻已经实验成功,例如都柏林当新克天文台的巴特勒尔(Butler),好望角的埃范斯(D. S. Evans)等以及美国制图队为大地测量而做成的实验。虽然因光线闪动引起的困难,这方法的使用还仅限于亮星在月轮暗边缘被掩的情形,可是光电方法在能使用的情况下,所能达到的准确度(± 0.01 时秒),远远超过以前用或不用记时仪的目视方法所达到的准确度(± 0.1 时秒)。

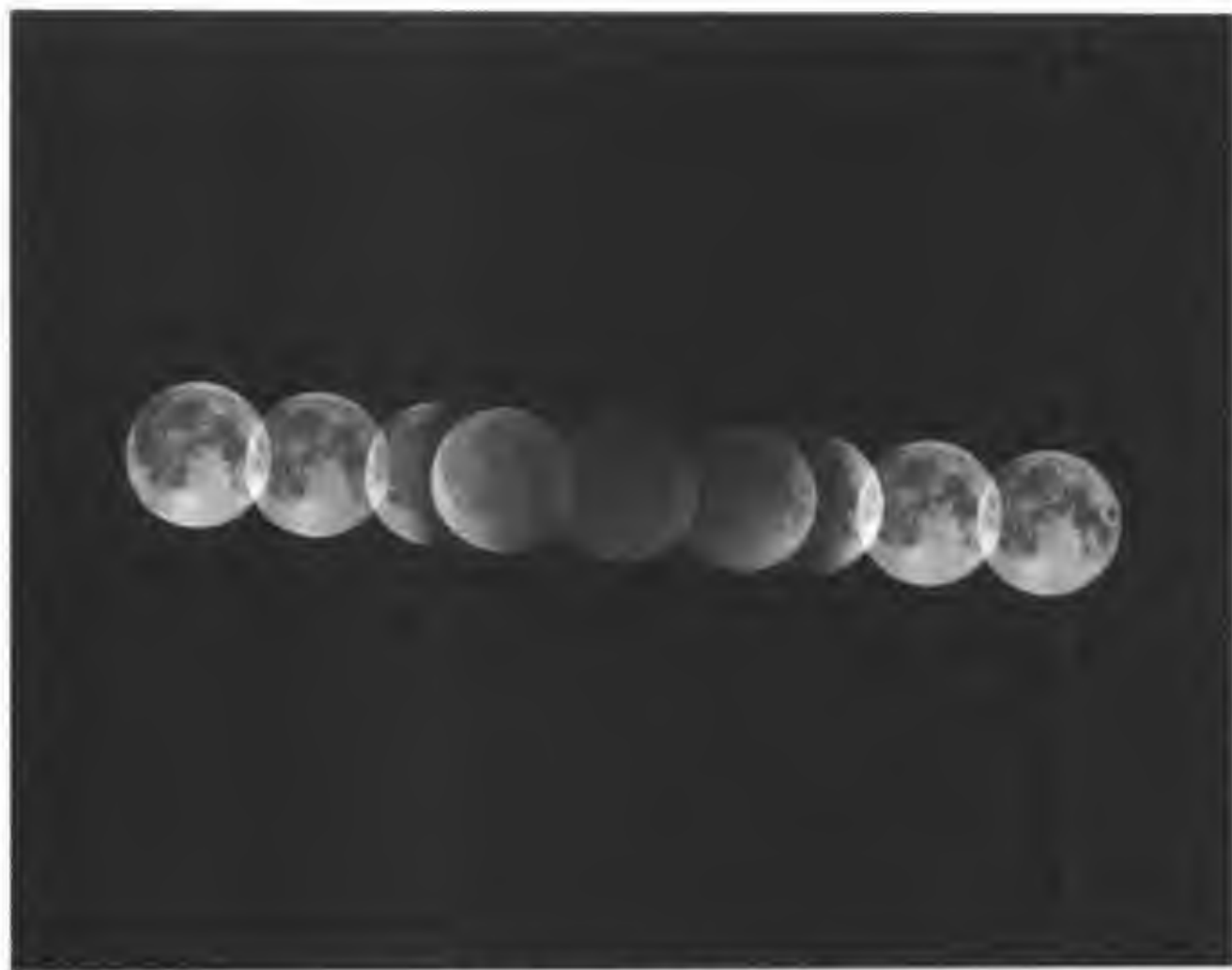
以更高的准确度测量月亮对于恒星位置的另一种方法,自 1952 年以来,由美国海军天文台的马科维茨(W. Markowitz)所发展。在这仪器里月光先透过一个黑色的吸光玻璃片,将月亮的像拍摄在照相镜的视场的中央,周围的星光透过一个淡黄色的滤光片,也拍摄在这一照片上。在拍摄这些定标星所需要的短时间里,月亮对于恒星的运动须得精确地得到补偿,方法是使一个平行的平面玻片逐渐倾斜,速度由一个马达控制,并且必定使月亮的像在露光时间中是静止的。在露光正当中的一刹那,玻片恰好平行于照相底片,观测者所拍摄的便是月亮在这一瞬时的位置,这瞬时因一个电接触自动地被记录下来。

这样,不须等待月掩星,在任何时候月亮的位置可以根据许多定标星而求得,至于边缘轮廓上的困难也可以避免,因为由月轮中央的一些显著的特点,可以参照恒星而直接求得中心的位置。这样定出的精密度很高,对于每张照片约为 $\pm 0''.1$ 。

人们不断地努力去精确地测定月亮的踪迹,在本世纪的后半期将必有显著的进步。

在以更高的精度去寻求月亮和行星的位置这一问题上,所有的因素都必须考虑到。例如记录所用的时间,观测的方法、比较观测的理论都已经过了很大的改进,但是还有另外一个因素近来才被加以严格的批判,这因素便是月亮位置所依靠的坐标系,更精确些说,记载恒星位置的标准星表所用的坐标系。这是和天文学一样老的问题,经历了两千年,今天仍和喜帕恰斯时代一样的新鲜。恒星位置的测定需要不断地增进其精密度,不但是为了用作行星运动的参照坐标,而且是为了恒星系整体运动的研究。大战前在这一方面的成就有博斯(Boss)于 1910 年所刊印的《总星表初篇》(简称 *P. G. C.*)和 1937 年的《总星表》(简称 *G. C.*),总表内载有 33 342 颗恒星的位置与自行,是从以前很多基本星表汇编而制成的。

星表的系统差 另外一个重要星表名叫 *FK₃*,即德国天文年历的



月食和地影在月全食的过程中

月球从右(西)往左(东)穿过地球的影子,使我们看到圆形的地影。

第三基本星表的简写,自 1940 年开始被采用为国际的标准星表,载有 1 535 颗星的位置,比 *G. C.* 的准确度还高。

恒星的位置有更高精确度的测定出现暴露了这些星表之间有微小的系统差,表明天球坐标系有重新测定的需要。1952 年美国海军天文台摩根(H. R. Morgan)所刊布的包含 5 268 颗标准星的星表,是将 70 种近代星表归算到统一的系统(名叫 N 30),在准确度与均匀性方面都有很大的进步。

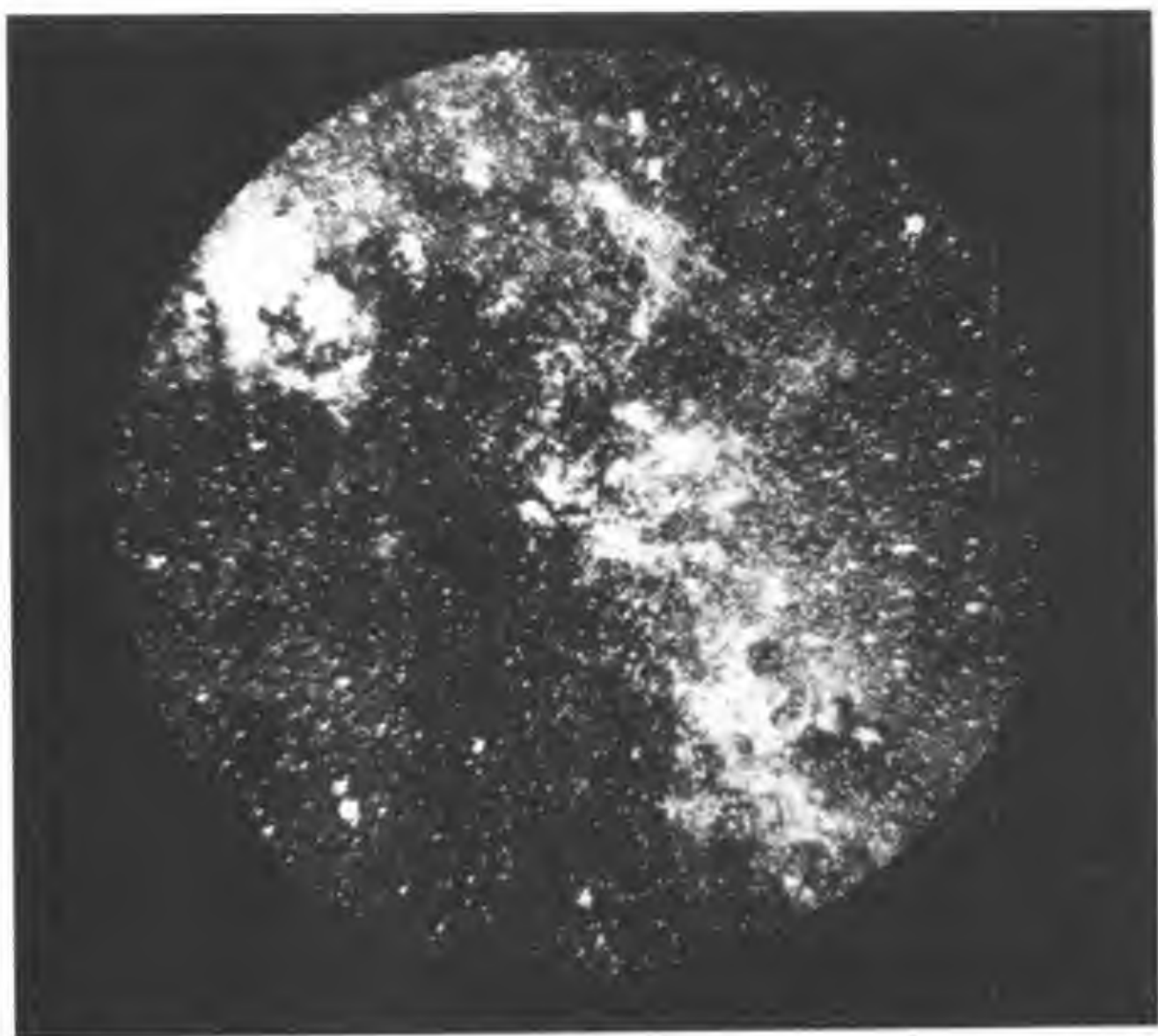
星表工作的主要困难是保证恒星的坐标对于整个天穹都是均匀的,换句话说即使在小区域内也没有坐标系的畸变。一方面因为地球自转有季节上的不均匀性,另一方面因为在天穹上相距很不同的区域里的星,在一年中不同时期里被人观测,这便使这问题变为最难于解决的了。1953 年格林尼治的史密斯(H. M. Smith)与塔克尔(R. H. Tucker)证明季节变化中的一个重要部分,从前以为是由地球自转的不均匀而来的,其实是由用以测定时刻的恒星的赤经有细微的不一致而来用

现时改进了的坐标,季节的效应已经显著地减少了。克服这一困难,以保证恒星在全天空上的均匀性,由普耳科沃的吕梅罗夫(B. V. Numerov)(1932)和耶鲁的布劳尔(1935)所设计的办法,现在已经在几个天文台进行。这办法是观测一些小行星,这些小行星在其运动中扫过天球上的一个宽带,好像将坐标系由一区域带到另一区域里去。这些小行星的轨道可以精确地和迅速地用电子计算机算出,所以观测和计算的位置的差异,当归咎于小行星的背景上的恒星位置的误差。这样便可在整个天球上建立起一个完全均匀的坐标系统。耶鲁的方案于1935至1948年间实施,对16颗小行星拍摄了6 000张照片。进一步工作还在进行^①。

银河系的自转被发现,使人感觉到有另外一种困难,便是恒星系对于天体力学所假设的理想的(或者惰性的)坐标有一种缓慢的转动。为了克服这一困难,里克天文台赖特(W. H. Wright)建议以遥远的河外星云为背景去测定恒星的位置与自行,实际说来,河外星云所组成的坐标系可以当做是完全固定的,特别是消除了自转的运动。这计划在大战以后为沙恩(C. D. Shane)与惠塔嫩(C. A. Whirtanen)积极推动,所用的天体照相机是特别设计的,口径20英寸(50厘米)。1947至1954年间-23°以北的天空都拍照过了,总共照了1246张底片,每张底片露光两小时,拍摄得第18等的星云,底片大小是17×17英寸,每片盖着6平方度。为易于和用子午环测定的亮星相比较,物镜前面装上粗光栅,以造成亮星的衍射像。在这样的照片上测定的精确度,对于恒星来说,大约是0".1,对于星云来说大约是0".15,所以在预定的1985年再度拍照时,我们可以求得以遥远星云为背景的自行,精度之高可达每年 $\pm 0".004$ 。今天的天文工作者亦如两个世纪以前的布拉德累一样,在为后代人工作。这些用20英寸折射望远镜所拍摄的照片还有一个重要的用途,即是可以用来研究暗的河外星云的分布,关于这一点,下面还要谈到(§ 51)。

自1939年开始,苏联的几个天文台(普耳科沃、莫斯科、基辅、塔什干)也有同样的计划,因为在这以前普耳科沃天文台利用编制天图星表的照相机所拍的不同时期的照片,已经刊布了一些恒星对于近的

^① 苏联天文学家所筹划编制的微星星表中,也有这一项工作,中国科学院佘山观象台便参加这一工作。——译注



银河

河外星云的绝对自行。德国和苏联对于改进记载恒星位置的基本星表都有庞大的计划^①, 目的在于推广 FK_3 星表到 AGK_1, AGK_2 等星表内的暗星。还有耶鲁天文台与好望角天文台正在大量拍摄恒星的位置。所以在未来几十年里将有高精度($0''.1$)的绝对位置出现, 包括亮于 9 等的星, 数目当可超过 25 万之多。这样又可为整理天图星表的庞大资料提供一个基础。自动测量的机器(§ 46)和电子计算机与洞卡计算机的使用, 将必促进这些庞大计划的完成。

太阳的距离 和天球上角坐标系的改进相联的问题便是以更高的精确度去测定表示宇宙距离的天文单位(参看第三章 § 17, 第六章 § 41), 这一测定自大战以后有显著的进步。1950 年德国天文学家腊

^① 苏联科学院领导下的天体测量学会拟编制一种微星星表, 中国科学院佘山观象台参加这一合作性的工作。——译注

布(E. Rabe)根据 1926 至 1945 年爱神星受地球的摄动而推得的地球的质量(或太阳的质量与地球的质量之比值),测得太阳的视差,比较以前所得的数值更是精密。他的数值 $8''.7984 \pm 0''.0004$, 和以前测定的平均值很是接近,在人们对太阳的距离的精密测定所付出的努力的长期历史中,这算是一个很大的进步,由这一测定得出太阳的平均距离是 92 900 000 英里(14.9×10^6 千米),或然误差只有 4 500 英里(约相当于地球的半径那样长)。

恒星的距离 虽然用三角视差法以求恒星的距离不如以前的活跃,但是恒星视差的数字仍然是在增加。1952 年耶鲁的靳金斯(Louise F. Jenkins)所刊布的恒星视差总表有星 5 822 颗,比 1935 年的星表增加 50%。除非发现新方法去更迅速地和更精确地测定恒星的视差,这个基本的方法将不能满足今日天文学的需要。虽然这样,还有几个天文台仍然在这方面努力工作,而且发现一些改进精度的方法,例如斯普鲁耳天文台的万德·康(P. van de Kamp)和他的同僚的工作。近代三角视差达到的精度虽然已有相当的高($\pm 0''.01$),但是大多数恒星的视差太小(最近的半人马近邻星的视差是 $0''.75$, 只有 160 颗星的视差经人求得是超过 $0''.1$ 的),即使对几十分之一秒差距以外之星,相对差便和所求的距离的数值相当,因而所求得的数值很不可靠。这样,对于需要确切地知道绝对亮度的恒星(§ 50),便是一个严重的困难,一些特殊的星,如造父变星、星团变星、新星、O 型和 B 型超巨星距离都相当远,不能用三角法精确地测定它们的视差,这问题显得更加严重。对于这些星的距离,天文学家只好使用不大精确的间接测定,这些测定中可能含有相当大的误差,经过很久不能被人查出,于是在探索宇宙的深度(§ 51)的问题上,便造成了严重的损害。

这一节简略概括的叙述已足够说明经典的方位天文学虽然是最古老的,在今天仍然是一样的活跃,对于其他新生的部门的进步,仍然不失它的基本重要的地位。

48. 太阳系物理

自大战以来太阳系物理的广阔领域更大大地扩张了,特别是因为发明了用射电去研究天文学的新方法,我们要在第 52 节里详细地叙述它。这里只简略地讨论一下比较经典的天体物理学的研究在战后

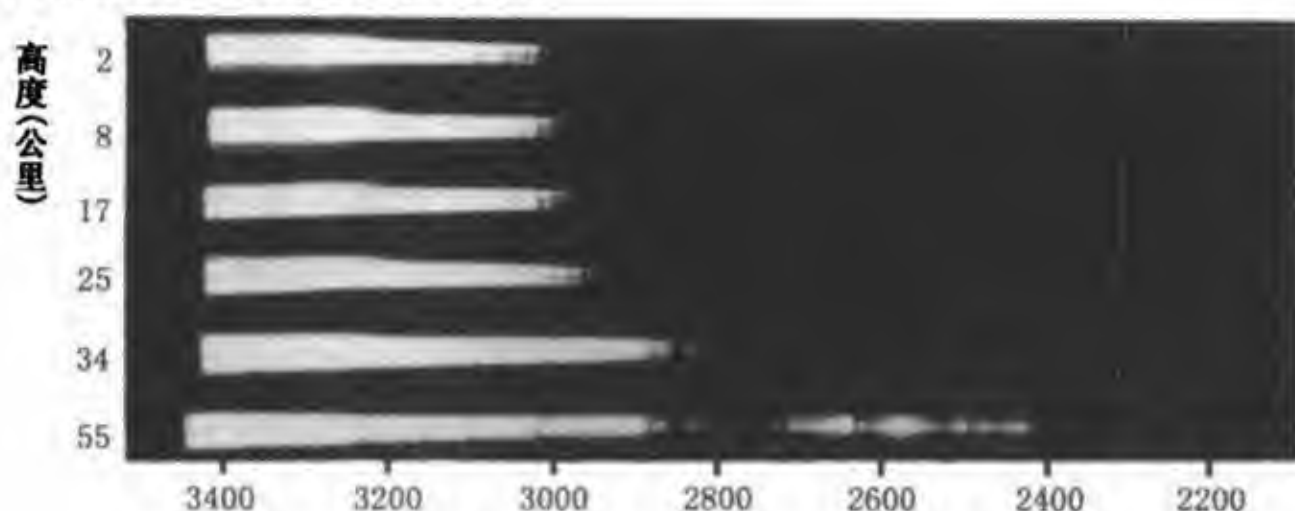
的发展。

我们对太阳的研究得到由战争而来的火箭 V-2 的帮助,这种高空的实验在新墨西哥州的白沙实验场做过许多次。1946 年 10 月 10 日携带仪器的火箭上升高度超出 80 千米的高空,越过臭氧层的障碍,太阳光谱的远紫外区第一次被拍摄下来。这个新的光谱区达到 2 100 埃处,被氧气吸收所限制,记录下几千条新的谱线。其中有太阳的整个光谱最强的两条线(即电离镁 Mg II 在 2 796 与 2 802 埃处的共振双重线),比电离钙 Ca II 的 H 和 K 两条谱线还强,原因是太阳里镁比钙的含量要多些。还有许多谱线是由中性铁 Fe I 与电离铁 Fe II 而来的。

太阳的光谱 以后火箭飞得更高,拍摄得的太阳光谱,波长也更短。1949 年 9 月 29 日所发射的火箭达 150 千米的高度,携带有对远紫外线和软 X 线灵敏的光子计数管,它记录下在 10 千米以上有 1 750 ~ 2 150 埃的紫外辐射波带,在 70 千米以上有 1 425 ~ 1 700 埃波带,在 100 千米以上有 1 150 ~ 1 350 埃波带,在 85 千米以上有达到 7 埃的软 X 线。这些辐射虽然是很微弱的,可是它们的存在对于色球和日冕的理论有很重要的意义。最近升高到 80 千米以上的“蜜蜂式”火箭拍摄到很重要的赖曼 L-alpha 那条氢的发射谱线,波长是 1 216 埃。这条谱线是氢原子中电子跃迁到基态而形成的,至于人眼可见的巴耳末 H-alpha 那条谱线,是电子跃迁到基态上的第一激发能级而形成的。

太阳光谱的紫外波段,因火箭飞升高空而延长,同时地上的物理学家在开拓远的红外波段方面,亦有同样重要的进步。这一成就主要是由于发明了硫化铅光电导管(灵敏度达 3 微米)和铅碲光电管(灵敏度达 4 微米)。对于 10 微米波段的红外区,还有温差电堆,它所产生的微弱电流可以经过新式的放大。从近紫外区到近红外区的大尺度太阳光谱图,根据威尔逊山的照片以描迹的方式,表现谱线的强度,经荷兰天文学家米纳尔(M. Minnaert)刊布于战争期间。1950 年马克马思天文台使用硫化铅光电导管描迹,更将这幅图扩大到 2.5 微米的红外波段,同时比利时天体物理学家米几奥特(M. Migeotte)在瑞士处女峰高山站将红外波段描迹到 10 微米。高山上大气谱线特别是由水汽而来的谱线变弱,使太阳的谱线的研究变得更容易,因为在海平面处大气是一个很大的障碍。由这些研究所得的有趣的副产品当是在地球的大气里(即使在远离工业区域的地方)发现有微量的沼气(CH_4)与一氧化碳(CO)。

在夫琅和费的光谱里有几千条线还未证认属于哪些元素,经过不断的分类,1951年美国标准局的莫尔女士(Moore-Sitterly)证认出稀有元素锝(^{43}Tc),接着威尔逊的默里耳(P.W. Merrill)在稀少的S谱型的恒星里,也找着这一元素。其他稀有元素如铟(^{49}In)与锇(^{76}Os)都由巴布科克、莫尔等宣布发现了。同时在地上黑夜气辉与极光里很显著的是在6300与6364埃处中性氧(OI)的禁戒线,也于1948年被美国的包温和法国的卡巴恩(J. Cabannes)和杜费(J. Dufay)独立地在太阳光谱里极微弱线上证认出来。



V2 火箭上升至各高度处所拍的太阳光谱

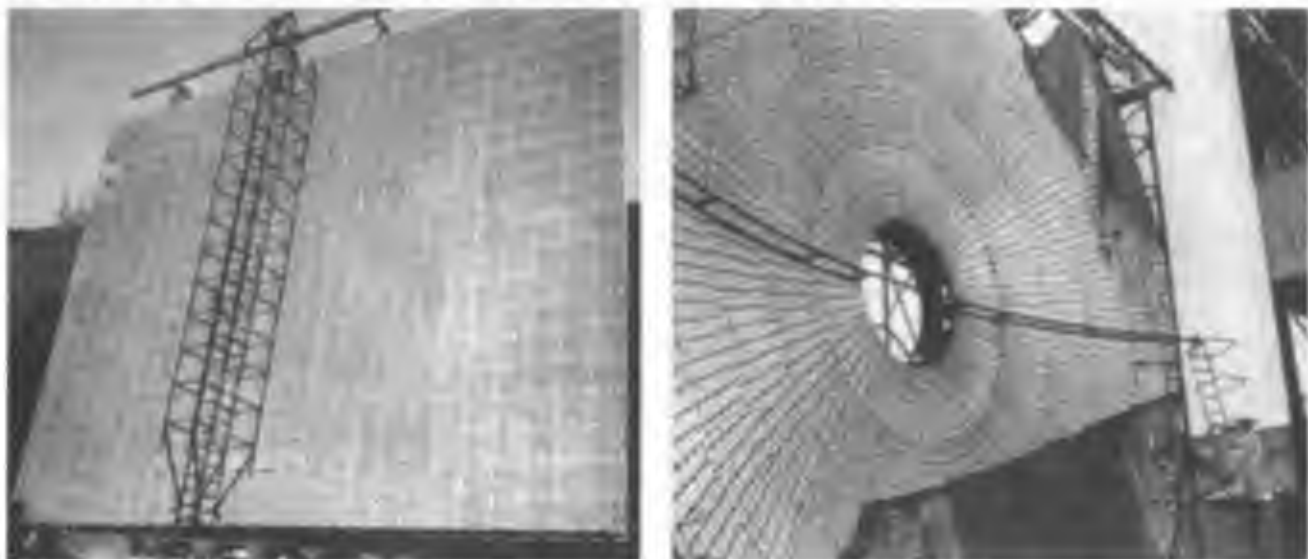
注意:当火线经过的气层愈少时,光谱愈向紫外一端增长;当火箭达到55千米高,这时已越过臭氧层光谱达到它最大的长度。

太阳的连续光谱(特别是红外波段)在法国有巴黎天体物理研究所的夏隆日,在美国有马克马思天文台的皮尔斯(A. K. Pierce)加以研究。由这些研究得以更好地测定氢负离子的吸收曲线,因而使人猜想还有一种连续吸收的因素。

太阳常数 太阳的能量曲线向紫外和红外两端的认识日渐推广,使人想去改进太阳常数的公认数值,这数值经艾博特(C. G. Abbot)测定为1.90卡/平方厘米/分(更于1947年重新加以证实)。经过1948~1949年间许多天文学家的热烈讨论,大家认为可暂时采用整数值2.0卡/平方厘米/分,相比较更合适一些,这自然是指地球大气之外太阳在平均距离(1.00天文单位)时的数值。可是大家也承认这一基本量含有2%或3%的不确定范围,自第一次测量(第五章§33)至今虽然已经过了100多年,而且经过半个世纪里斯密森学院经常的努力观测,可是还须经过仔细的研究,才可得出一个确定的数值。

太阳常数是不是有变化的问题,经过很多的讨论,但因测量和测量的标准化以及大气吸收的校正多方面的困难,所以直到现在,还不能下结论。但是这个问题,对于地上现象,包括以太阳辐射为主要能量来源的生命现象,有非常重要的意义,也许从对月亮、行星和卫星仔细的光电光度研究,可以间接地得到解决的途径。

太阳能量的利用 我们可以连带提到自大战以来有几个国家(法国、印度、美国、澳大利亚等)对于借大型反光镜,直接利用太阳能量的问题,重新发生兴趣。在这缺乏动力的世界上,这种未经捕获的能源当然会引起人们愈来愈多的注意,也许终于会成为热带和亚热带区域取之不尽的能量的来源。可是达到地球的太阳辐射已经经过高度的稀化,所以要加以利用,工程上的困难是很大的。^①



在路易山上有几个太阳炉,是由大的抛物面镜吸收的日光烧热的。最大的一个表面有 900 平方米,这炉子是固定的,由一个活动的平面反光镜而获得日光。这太阳炉经常可达 3 000℃,可用的功率约为 7.5 千瓦。

太阳的磁场 太阳普遍磁场的问题战后也引起很多人的注意。1945 年德国天文学家提森(G. Thiessen)宣布他重做了赫耳的观测,求得太阳的普遍磁场大约是 50 高斯。可是在威尔逊山继续赫耳工作的巴布科克,根据 1939~1947 年间的观测却没有得着这个结果,提森本人于 1947 年再观测这细致的效应,也不能证实从前的数字。他于 1950 年宣布由再度观测的结果,这磁场的强度已经降低到 1.5 高斯,

^① 太阳能量的利用,第一届国际讨论会于 1955 年在美国亚历桑那州的斯坦福研究所召开。

同时另外一位在剑桥天文台工作的德国天文学家克鲁伯尔(H. von Klüber)求得这磁场的强度基本上为零。他屡次观测都没有找着这个磁场。太阳的普遍磁场可能是有变化的,如果存在的话,一定是比赫耳所想的小得多,也许在两极区还小于1高斯。

可是在帕隆登纳太阳观测台工作的巴布科克父子用他们发明的太阳磁力计,证明在太阳面上有迅速变化的局部磁场,强度大约是个高斯。这样变化的磁场可能使早期的研究者误认为普遍磁场。自1952年以来太阳磁力计便经常被使用,对黑子和别的太阳现象的物理过程觅得许多新的资料。我们早已证明黑子消逝后几天磁场仍然存在,有些没有黑子的区域也有磁场,而且持续好几天,在这样的区域里在太阳单色光的照片上,时常可以找着骚动的结构,也可以从那里发现太阳射电噪声的来源,但是关于这些弱磁场的规律,须得使用这种新仪器经过一个或者两个太阳活动周(第六章§38)才能够表现出来。

1954年巴布科克父子报告发现了约1或2高斯的偶极性的“普遍”磁场,但是这只限于日面高纬度的区域。这磁场是变化的。在低纬度处磁场是双极性的,常和黑子与谱斑相联,遵循赫耳的极性定律。有人发现弱的单极区可以持续几星期或几个月,大约在这磁场经过日面中心线以后3天,地上便发生磁暴。

太阳单色照相机 另外一种新仪器是李约近年内在默东天文台所发明和改进的,名叫“太阳单色照相机”,可以利用氢的 $H-\alpha$ 单色光去拍摄太阳。这仪器不像一般的太阳单色光照相机那样。它使用棱镜或光栅作为单色器,只利用一种偏振干涉滤光板,这是李约在战前已经发明的,用日冕的发射线去拍摄日冕的相片。这是许多高山天文台早已经常使用的仪器。李约的单色照相机相对于一般太阳单色光照相机的优点是在短时露光中便可拍摄得日轮的整个形象,至于分光镜的光缝只能由几分钟的扫描去构成太阳的像。再将一具活动影片照相机联合使用,我们便可研究色球现象的活动情况。现今世界上已有几个天文台装备有这种新仪器。

米粒斑 光球现象的观测已成为经常性的工作。从许多研究中可以提到几个新的结果,例如马克里斯(C. Macris)根据李约在日中峰拍摄的高分辨率米粒斑的照片所作的测量。他觅得米粒斑的直径在 $0''.7 \sim 2''.1$ 之间,没有寻出以前观测者所想像的旁向运动。这些运动也许因望远镜管受热被管里气流弄模糊了。另一新型研究是威尔逊

山的里恰尔森(R. S. Richardson)和普林斯顿的史瓦西尔德(M. Schwarzschild)对于米粒斑的分光研究。他们寻得有些米粒斑的平均湍流速度,数字级为每秒 $1/3$ 千米,这说明光球上有湍流大而明亮的米粒斑,其直径可达 160 或 320 千米。因地面大气的湍流,在地面上没有办法记录下这些只有 $0''.2 \sim 0''.4$ 角度的现象,但是用气球将特制的望远镜携带到高空可以拍摄出这些现象来。

1947 年太阳活动达到最高峰(是 1779 年以后最高的一次),天文工作者观测到特殊的日面现象。1947 年 3、4 月间拍得最大的单颗黑子,1946 年 2 月拍得最大的黑子群,同年 6 月 4 日因爆发现象,在最高纬度处出现了一个日珥,高出日面 160 多万千米。

对太阳外层的色球和日冕也有许多新的研究,只是这方面的工作还不像光球研究那样,已经成为经常性的观测。

耀斑 色球上的耀斑现象经过爱丁堡的爱里森(M. A. Ellison)、沮利克的瓦德梅耶(M. Waldmeier)、捷克的林克(F. Link)等人的长期观测仔细研究,耀斑和地磁等地球物理的骚动现象已经得到进一步的证实与分析。1942 年 2 月与 1946 年 7 月两次观测到极强的耀斑对宇宙线加强的影响。1949 年 11 月 19 日发生了一次最显著的事例,就是在异常强大的耀斑发生以后,在海平面处宇宙辐射的总量增加 200%,其中的中子成分增加 500%,这样的观测对于了解太阳现象与探索宇宙线都有很大的意义,虽然我们在这两方面还不能得到确切的解释。

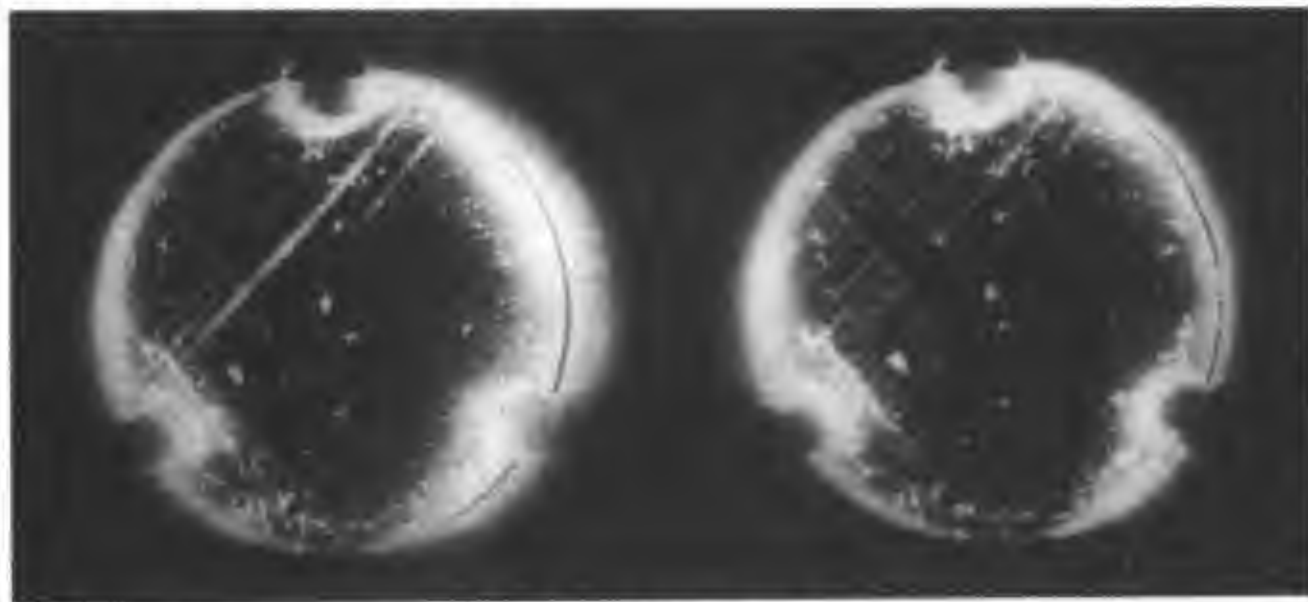
观测搜索耀斑与色球现象的国际组织(第六章 § 38)在战后的年代里达到最高的效率,因为自 1934 年开始工作以来,在 1949 年 9 月 6~7 日,这一天全球对太阳的观测持续经历了 48 小时没有间断。

奇怪的日珥现象,例如日珥忽然消逝的现象,曾经默东、威尔逊山和马克马思天文台观测过。大日珥忽然不见的原因与机制仍然是一个很大的疑谜,有时大日珥又可在相同的地位上慢慢地再度形成,以后又以静息状态存在很久。

在日轮边缘上出现的色球的精细结构(日面针状物)在多年前被塞西用肉眼观测过,经哈佛大学天文台的高山观测站拍摄下来。

日冕 李约曾经发明两种在白昼观测日冕的新仪器,一种是在战时完成的偏振干涉滤光器,另一种是高度灵敏的光电偏振计,这仪器于 1948 年在默东天文台不适宜观测的情况下也查出日冕的绿色谱线,在这以前日冕的观测只能在天空纯净,很少散光质点的高山站去

做。1950~1952年间用这种新仪器在默东观测所得的结果和同时在日中峰所作的观测很是相合。



用体视镜研究天文物镜的缺点

透镜上的缺点(痕纹和气泡)所漫射的光,可以指明缺点的所在处。注意物镜边沿因衍射而成的晕。

日冕的连续观测,在日中峰之外还有瑞士的阿罗萨(Arosa 主任是瓦德麦耶)和美国科洛腊多的克莱马克斯(Climax 主任是罗伯尔茨 W. O. Roberts)。1950年以来哈佛大学天文台又在新墨西哥州3000米高的萨克腊门托峰(Sacramento Peak)建立一个大的日冕站。其他已经建立和正在筹建的高山观测站还有阿尔卑斯山、高加索和日本等几处。日冕的仔细研究,在近年内已经显现它的重要意义,特别是由射电方面的研究而得来的结果,我们将在52节内讨论。

黄道光 除了广阔没有一定界限的外层日冕之外,一向被人看做是天空的奇妙而不被当做科学研究对象的黄道光,自大战以来引起人们很大的注意,对它的物理解释也有很大的进步。这一进步表现在用光电技术去测量这种天空微弱的光辉的分布。1934~1935年间有埃耳佛(C. T. Elvey)和罗奇(F. E. Roach)在麦克当纳天文台所做的观测。对黄道光做过长期的相当连续的观测的,1945~1949年间有日本的古畑,1952~1953年间有德国的伯尔(A. Behr)和西登托夫(H. Siedentopf)。他们的工作是在瑞士处女峰高山站适宜的天空下做成的。法国和日本的偏振测量,苏联的分光光度测定都为战后的黄道光理论打下很好的基础。在理论方面的工作有美国的惠普耳(1940),荷兰的万·德·赫斯特(Van de Hulst, 1947)和德国的埃耳萨塞(H. Elsaesser,

1954)。惠普耳以为黄道光的散射质点是崩解后的彗星的残余形成的;万德赫斯特提出一个重要的概念,他以为黄道光是和日冕的一个组成部分名叫F日冕(即无偏振光的部分)相联接的。这些黄道上的质点是1微米至1毫米的小质点,还有衍射和散射光线的自由电子。它们形成围绕太阳的一大环圈,地球的轨道被包围在里面。在太阳系这一内层造成且维持黄道光的因素很多,如太阳的辐射压、大行星(特别是木星)的羁留、彗星接近太阳时的崩溃与蒸发、流星和小行星等固体的碰撞等,这一切形成黄道光的机制是很微妙的。要想解决这个问题,还须进行更多的工作,例如“对日照”和“假黄道光”等还不明了的现象,须得加以研究,所谓“假黄道光”是1950年苏联天文学家费森可夫(V. G. Fessenkov)所发现的,有人以为是地球的附属物或尾巴。但是这现象的真实性和对它的解释还遭到西方和苏联的天文学家严厉的批评。

流星 在有关流星和彗星天文学的范围里,从实验与理论两方面来看,战后都有很大的进步。最显著的成就当是由射电的方法而得来的,但是经典式的照相法也增进了不少的知识,特别可以提到的是惠普耳和他的同事在哈佛流星观测站以及米耳曼(P. M. Millman)和他的同事在加拿大的工作。战后对流星研究的兴趣高涨,那是因为它和高层大气里高速飞行的问题发生关系的原故,哈佛流星观测站于1951年装配有贝克尔(J. G. Baker)设计的“超施米特”照相镜,这是一种有很广的角度和很快的速度的照相镜。使用许多这样的仪器在几个地方观测,可以研究流星的辐射点、轨道、空间速度以及高空密度和温度等有关天文、地球物理和航空等几方面的问题。同样的观测站在苏联、日本、捷克和加拿大都很活跃地在工作。

战后流星天文学领域内的一件大事当是1946年10月10日的一阵大流星雨,这些流星雨是和1933年所观测的雅科比尼-济内尔(Giacobini-Zinner)彗星有关系的。有人拍得很多张照片,特别是米耳曼拍摄了200多条流星的踪迹,人们也第一次大规模地使用射电的方法去研究这阵流星雨。

近20年内米耳曼在加拿大拍摄有100个流星的光谱,证认出流星里含有铁、钠、钾、镁、锰、铬、铝(中性的和电离的)等常见的金属,陨石的化学分析已经早证实了这些金属存在于陨石之内。

陨石 近年来人们对陨石的寻觅发生了很大的兴趣,从陨石焚毁



天外来客

世界最大的吉林1号陨石，重1 770 千克。1967年3月8日随陨石雨陨落
在吉林。

后在大气里遗留下的仅在显微镜里才可以看见的尘埃以至陷没在陨石坑深处的大块，各样大小的陨石都有人在寻找。“陨石学”已经成为一种新的科学，在美国与苏联正被活跃地研究着。1947年2月12日在苏联的远东省有一群陨石坠落，曾经费森可夫研究。人们已经找到100多个陨石坑，直径从几米以至160米，并搜集得陨石的残余超过37吨，其中最大一块主要成分是铁，约重2吨。1948年2月18日美国有一阵大陨石坠落，事后发现一块大的陨石重量超过1吨，是人们的发现石质陨石中最大的一块。

自大战以后，人们也发现一些由古代陨石坠落所形成的大陨石坑。在澳洲西部有狼溪陨石坑，于1948年被发现，直径0.8千米，从它的形态得知它是在比较近的时代形成的。另外一个陨石坑于1960年在加拿大北部魁北克省内被发现，直径约有3千米，比亚历桑那陨石坑还大，当可推为现今发现中最大的一个。这陨石坑经过冰川进退的



美国亚利桑那州的陨石坑

直径 1 265 米,可能是几万年前陨石或小行星撞击地球的遗迹。

磨蚀,形成期较早,当在一万年以前。这两个陨石坑都在人迹不到的沙漠里,是由飞机在高空拍照所发现的。

我们还该提到瑞典的海洋探测队曾探测大洋底的泥土,在里面找到陨石的尘埃。由对陨石化学的和物理的分析,人们对太阳系的形成得到一些线索,陨石中铅的含量说明它形成的年代,再由它的氮的含量表现宇宙线在过去的强度。

陨石学是和几种科学和技术都有关系的科学,它在天文研究上所具有的重要性是我们所没有料想到的。

彗星 战后彗星物理的理论也有很大的发展。1950 年惠普耳所提出的理论,说明许多以前没有联系过的事实,当算是一个大的贡献。他说彗核是彗星远离太阳时凝冻气体与陨石物质的集团。由彗星光谱的分析说明这集团的凝冻部分主要是冰、二氧化碳(干冰)、氨、甲烷和氰。彗星接近太阳时,受太阳的热力的影响,物质蒸发成为气体,才形成气体的彗头与彗尾。如果我们再考虑到彗核的自转,那么我们便容易说明以前被认为神秘的现象,如 19 世纪观测得的恩克彗星运动上的加速度(第四章 § 30),别的彗星运动上的减速度,以及像比厄拉彗星那样的崩溃现象(第五章 § 35)。

彗星的起源问题也引起许多天文学家的研究。1950 年奥尔特作

了一个假说,他以为彗星是由一颗大行星崩溃而形成的,一部分形成小行星,另一部分形成彗星。根据这假说,太阳是被距离很远的彗核形成的云所包围着的,这些彗核的近日点远达 10 万天文单位,所以多数是看不见的。只有很少数受了恒星摄动的作用,使这些核状物运动在很长的抛物线型的轨道上,使它们来到太阳的附近,按照惠普耳所说的机制才形成彗尾;还有一些被木、土等大行星所捕获,形成为周期彗星,经过很多次环绕太阳的运行,终于破裂成碎片,落到地球和别的行星上去,便成为流星与陨石。别的理论主张彗星是由星际物质凝聚而成的。在这难于解答的问题上,大家还没有一致的意见。



布鲁克斯彗星(1911V)

10月28日4时15分至49分。纤维式的光芒从彗核射出。

在这期间彗星的物理观测和彗星光谱的解释都有重要的进展。自从战争初期对彗星谱线已有初步的证认(第六章 § 40),在解决这个困难问题上进一步的工作在几个国家里有显著的进展,例如比利时利野日天体物理研究所的斯温斯(P. Swings)和他的同事与法国默东天文台的赫尔曼夫人(Mme. R. Herman)。在观测之外,还辅助以繁重的实验工作,才将普通元素在特殊激发的情况下所作成的不习见的谱线和光带认识清楚,明了彗星光谱里各种辐射的性质。

1947 和 1948 年在南半球观测到的两颗,是许多年来最明亮的彗

星。1950年默东天文台的巴耳代(F. Baldet)刊布了一册彗星表,收集有自公元前2315至公元后1948年间所观测过的彗星1619颗。1952年巴耳代和奥巴迪亚(G. de Obaldia)更刊布了彗星轨道表,收集有自公元前466年至公元后1952年间已经算出轨道的彗星763个之多。

小行星 天文工作者对小行星也给予很大的注意,不但把它们应用到天体测量上去,而且对它们也作了物理的研究,因为小行星可能和太阳系的起源与天体碰撞之类的问题都有关系。

大规模的观测近几年在印第安那大学的林克天文台和麦克当纳天文台都在进行;他们使用25厘米口径的广角天体照相机,在几千张照片上拍摄到几百颗新旧小行星的迹象,即是说这些小行星之中有些是已经被发现过的,只因轨道没有确定,多年来没有寻找到,现在又在照片上再度觅得。这种繁琐但是必需的工作,还在一些天文台,如法国的尼斯、芬兰的杜库、南非的约翰堡、德国的赫德堡、比利时的雨克等天文台进行,而且将无限期地做下去。因此有些天文学家怀疑将这样多的精力、时间与金钱花费去追寻不断增多的小行星(现时已知轨道的超过1600个),在科学研究的结果上是不是值得。于是有人建议只观测和计算少数重要的,而忽略掉那些“无用的”小行星。但是如果不管那些“无用的”,我们就难于分辨哪些是新的哪些是旧的,而且有些新的因其轨道特殊,却可算是重要的。

例如1949年巴德用帕洛马山48英寸(120厘米)施米特望远镜所发现的伊卡吕斯(Icarus,即1566号)便是一个显著的例子,这颗小行星的近日点距离小于0.2天文单位(3200万千米),因此它可以走到水星轨道的内面去。当它接近水星轨道的时候,我们可利用它来求得水星的质量,因为水星没有卫星,它的质量至今还不能确定。伊卡吕斯接近地球的轨道的时候只有640万千米。里克和帕洛马山天文台的巡天摄影的照片上记录下数百颗小行星之多,但是只有一些具有特点的,才经人去作轨道的计算。

一向被人疏忽了的小行星的物理研究,战后又有人热烈地研究起来,例如叶凯士天文台的柯伊伯和他的同事,对一些明亮的小行星,曾经用光电光度法绘出几个颜色的光变曲线,分析这些曲线的结果,对这些小行星的自转周期、无规的形状、表面的结构,可以得到一些认识。

大行星 战后大行星的研究也有相当的进步,我们在这里只叙述几个重要的进展。

水星 1950年多耳甫斯在日中峰天文台对水星作过偏振的测量,结果表明水星上有一些很稀薄的大气,和由气体动力理论所推得的结果不大相合。这大气的压力估计只相当于1毫米汞柱压力。形成这稀薄大气的气体的性质还不明确,只知它是一种密而且重的气体罢了。

金星 柯伊伯所拍摄的金星的红外光谱,说明其中二氧化碳的吸收光谱的强度逐日发生变化,这也许是因为盖着金星表面的云层的不透明度发生变化,和云层的高低不一的缘故。金星大气里的云彩的性质我们还不明白。1954年门泽耳和惠普耳说这些云彩和地球上的情形相同,是水点和冰晶所形成的,我们所以没有能够从光谱里发现水汽,那是因为云层上大气的温度很低的缘故。如果我们假设金星整个表面被海洋掩盖,那么便不难解释它大气里为什么经常存在有自由的二氧化碳。但是这假设和观测似有矛盾,因为许多观测者认为金星表面上具有或多或少恒定的结构,而云彩总是会变化的。

月亮 柯伊伯在麦克当纳天文台用分光法,李约与多耳甫斯在日中峰天文台用偏振法去探寻月亮上的大气都没有得到丝毫的结果。月面上所残余的大气至多不过是地面大气的密度的1亿分之一(10^{-8})而已。

火星 火星的研究在战后因法、美和苏联三国天文学家的努力,有显著的进步。火星的大气压由光度和偏振的方法测得,至多只有65毫米汞柱气压,还不到地上气压的1/10,约相当于地球上高空18千米平流层的气压。火星大气里有微量的二氧化碳是柯伊伯于1947~1948年间使用硫化铅光电导管,对火星的红外光谱作分光光度的研究而求得的。它的分量约为地球上大气含量的两倍。

火星的极冠终于被柯伊伯从红外光谱的光度测量证认出是由冰所形成的。但是威尔逊山的亚当斯和当哈姆由许多次的观测,都没有在火星的大气里找到水汽。他们也没有寻到别的气体,只有在可见光谱里无法观测的氮气,可能是火星大气里的主要成分。

多耳甫斯在日中峰对火星作过很多的偏振观测,因此得到许多关于火星表面的知识。1950年他说明火星上大部分的红色区域是褐铁矿(水解氧化铁),可是1948年柯伊伯认为更可能是石英斑岩(铝和钾的硅酸盐),因此火星表面的矿物究竟是什么,仍然不大清楚。

在紫光下掩盖了表面特点的“紫色星”经过很多人的研究。我们不知道它是由通常的细小晶体(沙兹曼于1951,柯伊伯于1952)还是干



月食的各个阶段

1953年29~30日,由左至右进行,北在上。1月29日22时5分,露光0.2秒,月亮部分进入本影。1月29日22时33分,露光1秒,月亮部分进入本影。1月29日23时2分,露光15秒,月亮部分进入本影。1月29日23时12分,露光20秒,全食开始。1月30日0时35分,露光15秒,月亮部分在本影里。1月30日1时4分,露光1秒,月亮部分在本影里。1月30日1时23分,露光0.5秒,月亮部分在本影里。1月30日1时42分,露光0.2秒,月亮部分在半影里。

冰(赫斯于1950)或别的组成。1954年斯里弗尔说明这一层的消散期总是在火星冲日期(即日、地、火三星成一直线的时候)的几天之内。这奇怪的现象将继续引起人们的注意。

1953年阿希布鲁克(J. Ashbrook)在耶鲁大学对火星的自转作过新的测定,数值是24时37分22.6679 \pm 0.0026秒,准确度远远超过以前的测定。因此我们希望火星自转的不均匀性,像地球自转的不均匀那样(第七章§47),可以查出来,使人明白这种不均匀性的原因。

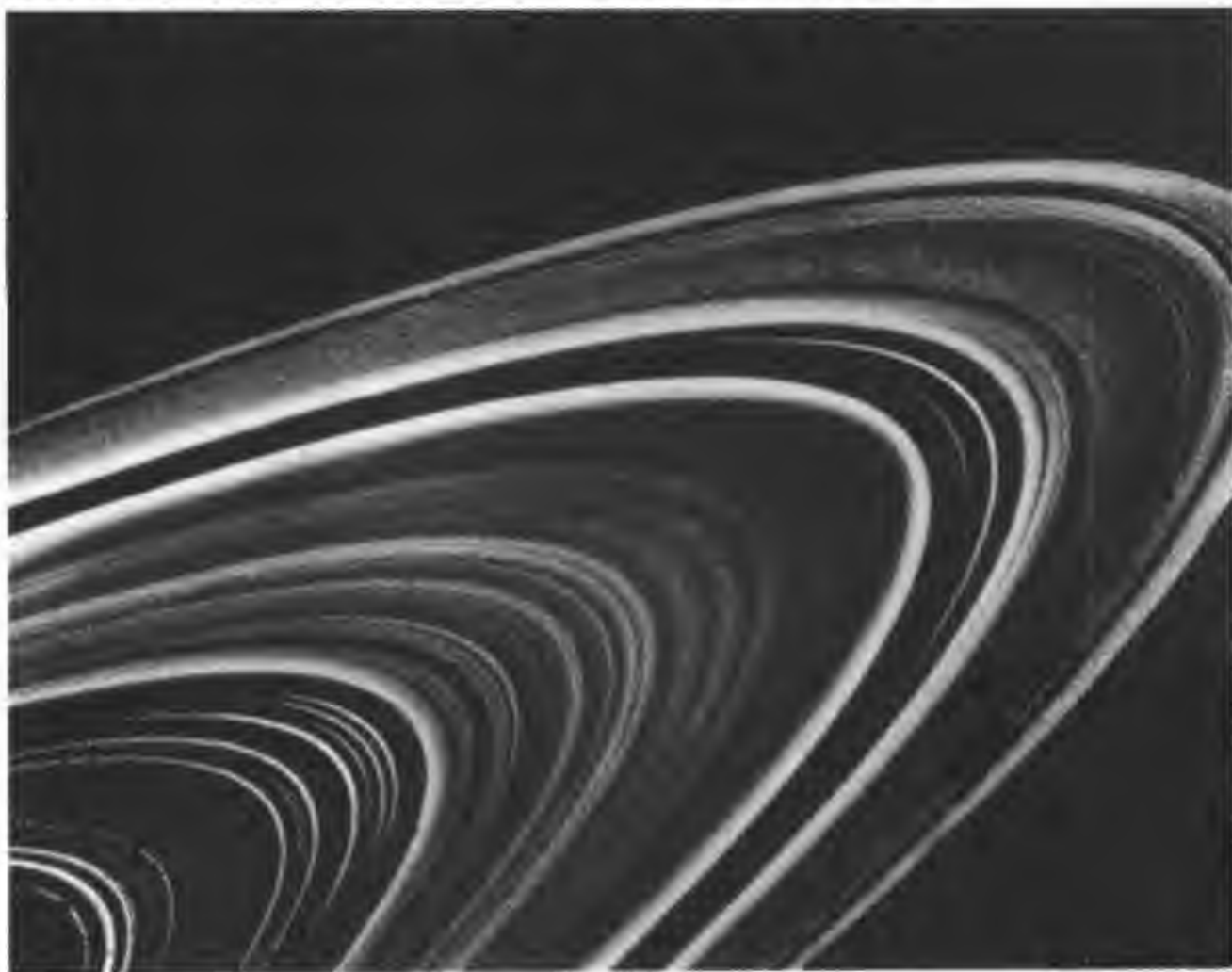
1953年国际火星委员会在洛韦耳天文台组织成功,目的是在1954和1956年两次大冲日时进行集体的观测。

木星 与金星的情况相同,木星大气里的气体所造成的一些吸收光带,强度亦有变化。赫斯在洛韦耳天文台,柯伊伯在麦克当纳天文台所做的研究,表明甲烷(CH₄)的吸收没有什么变化,但氨(NH₃)的吸

收却有显著的变化,这或者由于观测的云层有高低的不同,也许还由于改变液—气平衡的温度有变化。

1952年11月20日波姆(W.A. Baum)和科德(A.D. Code)在威尔逊山对于木星大气的组织,做了一次很精细的观测,得到一些重要的新知识。他们观测木星掩恒星,在恒星逐渐隐没在木星大气后面的时间内(大约10秒)作光电记录。根据恒星变暗的速率,求得木星高层大气的平均分子量大约是3.3,这说明氢和氦是大气里的主要成分。虽然我们从甲烷和氨的含量已经知道木星大气里主要成分是氢,上面这一结果却算是重要的,因为氢和氨这两种气体是不能由分光的方法寻找着的。

木星的第十二个卫星于1951年由尼科耳森用威尔逊山的100英寸(2.5米)望远镜发现。和1900年以来用照相的方法所发现的卫星(第六章§39)一样,木卫Ⅻ很暗,轨道的偏心率很大。



土星光环的魅力

土星光环是太阳系中最美妙的奇景,是由无数石块和冰块组成。1980年“旅行者”探测器的近距照片好像是密纹唱片一样。环宽约6万千米、厚仅一两千米。

土星 1948年柯伊伯研究土星光环的红外光谱,说明光环上可能盖有很低温度(70°K)的冰晶。这样可以说明光环的反照率为什么很高。1944年柯伊伯在土星最大的卫星(土卫六)的光谱里发现有甲烷的吸收光带,也许土卫是惟一具有大气的卫星,这虽是一个料想不到的新结果,但却与理论没有什么矛盾,也和卫星的大气的组成相合。

天王星与海王星 1946~1950年间柯伊伯又拍摄得天王和海王两星的红外光谱,在8270埃附近发现一个新的吸收光带,不能证认为属于氨或甲烷。1951年经赫兹白格(G. Herzberg)证认为氢的分子;他在实验室里造出了这条谱线,他使一根含氢的管子处在100毫米汞柱大气压和 78°K 的温度下,这样的氢所发出的光经过管端反光镜的几次反射,而使其光程经历80米的距离,然后去观测它的光谱。由这些实验估计出天王星大气的云层上氢的部分压约等于两倍大气压。

天王星的第五个卫星,海王星的第二个卫星由柯伊伯用麦克当纳天文台的82英寸(80厘米)反射望远镜先后于1948和1949两年所发现。天卫V和大卫V的情形相似,比早年发现的四颗卫星更接近于本行星。

冥王星 柯伊伯曾寻找冥王星大气里的吸收光带,但没有找着大气的迹象。1950年他用200英寸(5米)反射望远镜观测冥王星,量得它的角直径还小于 $0''.23$,因而它的线直径只有地球直径的一半。这样就使冥王星的质量成了一个疑谜。如果我们采取这样短的直径,而又以冥王星的密度和别的行星的密度相近似,那么冥王星的质量还不及地球质量的 $1/10$,可是由它对天王星和海王星的运动所生的摄动,它的质量应该是地球的质量的 $9/10$ 。

在冥王星轨道之外还没有发现别的行星,但是从近日点汇聚在冥王星轨道外的彗星族的现象加以研究,有人预言还有一个或者多个大行星。1950年德国的许埃特(K. Schuette)提出近日点平均在85天文单位处有一族彗星,说明在77天文单位那里可能有一颗冥王星以外的大行星。

49. 恒星物理

恒星物理研究的广大领域战后有显著的展开。

耀星 在变星的经典研究的范围里,最有意义的发现当是认识一

种“耀星”(flare star),这是晚期的矮星,在相隔不等的时间之后忽然明亮几秒钟,比平常亮两三倍或更多的倍数,然后按指数函数变暗。万·玛伦(A. Van Maanen, 1884 ~ 1946)于 1939 和 1943 年在测量视差的照片上发现了两颗,但没有引起人们的注意,战后有几个天文台使用光度和分光的方法,一连发现了几颗。最著名的一颗是吕伊顿(W. J. Luyten)所发现的双星 L726 - 8 号的一颗暗的伴星;自 1948 年它被发现为耀星以来,它已明亮了六七次,最显著的一次是在 1952 年 9 月 25 日被贝尔格莱德天文台的奥斯康让(V. Oskanjan)所观测到的,在不到 20 秒钟之内,这颗星明亮了 5 个星等(即亮度增加了 100 倍)!有些观测者耐心地在望远镜前面守候几小时,希望看见这颗星忽然闪耀,这类星现在命名为鲸鱼 UV 型星,据现在观测过的一些耀星的统计,闪光发生的时间虽无一定的规律,但平均每日有一两次之多。

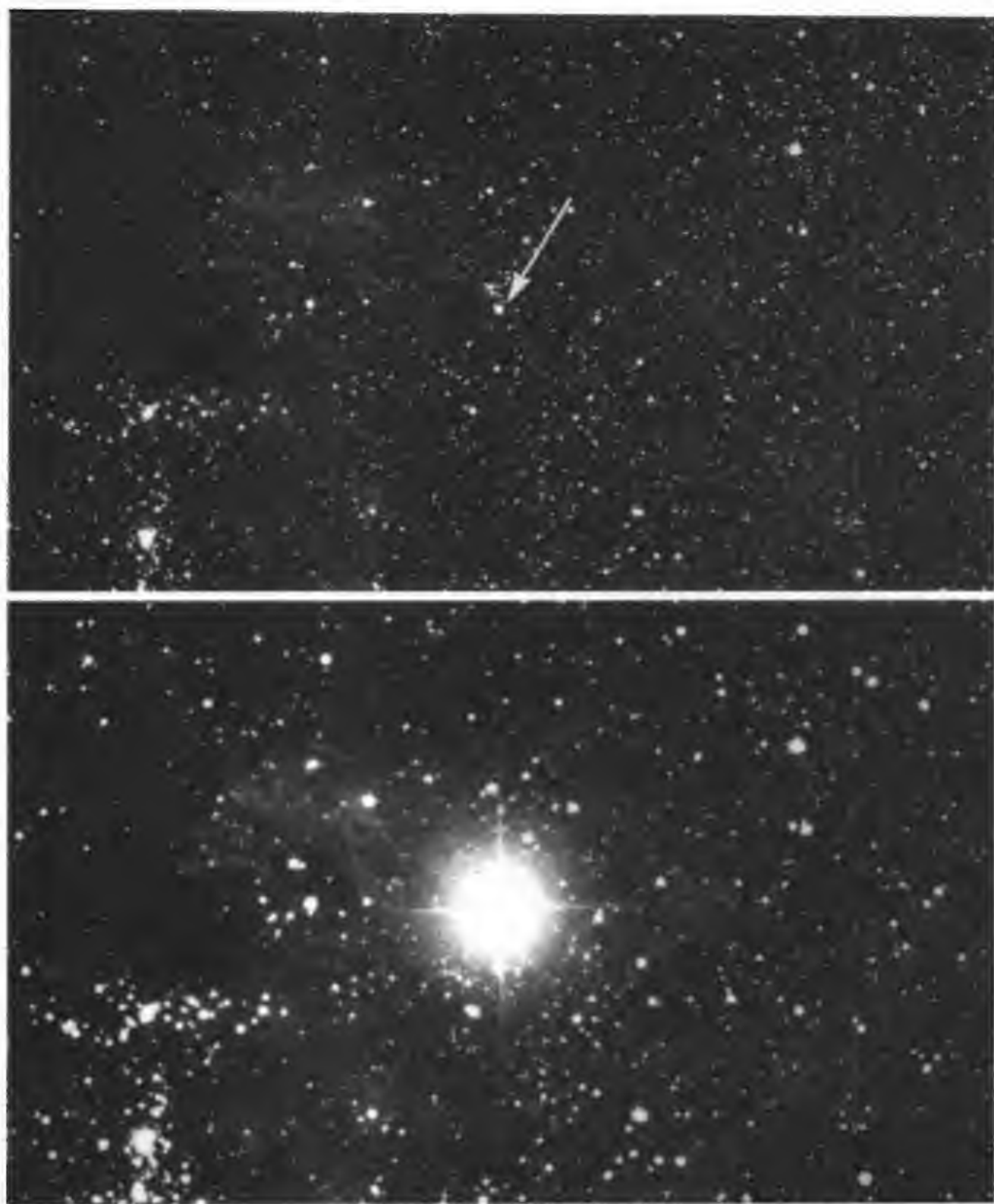
现在天文工作者已经观测到许多星具有这种无规的耀光式的变化,它们主要是暗红矮星,而且闪光是这类星常有的现象。在闪光时所拍摄的光谱,表明其中有平时没有的氢和电离钙的发射明线。据里克天文台的克龙(G. E. Kron)说这现象和太阳色球上的耀斑(第六章 § 38)很是相似,可是这些星本身亮度小,光变却是很大,但太阳的亮度比较大,耀斑却不大影响它,这是难于解释的一点。

变星 连带可以提到食变星光曲线上的小小畸变,经克龙在非食时观测所得,也许是由于类似的现象,或者地球上发生了类似太阳黑子的斑点。

这些年来曾发现了一些特殊变星,例如 1951 年埃根在澳洲斯特朗洛山联邦天文台发现一颗星团型的造父变星(凤凰座 SX 星),星等 7,光变周期只有 80 分钟。在这以前我们知道最短的光变周期属宝瓶座 CY 星,周期是 106 分钟。

相反的,周期最长的食变星于 1950 年由奥康内耳(D. O'Connell)在西德内附近的江景大学天文台发现。这是半人马座内的一颗 10 等星,周期可能是 100 乃至 200 年,因为考察自 1884 年哈佛的照片记录,只观测到它的一次主极小^①;这极小光度开始于 10 年以前,现在仍在进行,食期可能超过 20 年。这以前我们知道最长周期的食变星是属大麦哲伦星云内的超巨星剑鱼座 S 星,周期只有 40 年。

① 主极小是最小的极小值。——译注



超新星 1987A

这是人类在将近 400 年来首次发现了肉眼可以看到的超新星,出现在大麦哲伦星云中,成为 20 世纪中最重大的天文发现之一。它发出强大的紫外射线和 X 射线,成为天体物理学中重要的研究对象。该图是这颗超新星爆发前(上图)和爆发后(下图)的照片。

还有一颗星,在多年静息以后忽然又明亮起来,这便是一度有名的新星船底座 Eta 星(第四章 § 24)。这变化于 1952 年被本书作者观测到,从江景大学天文台的照片中知道,这颗星远在 1941 年便明亮了

1 个多星等(图 27)。可是经过十几年还没有被人察觉,说明南半球的天文观测没有得到重视。

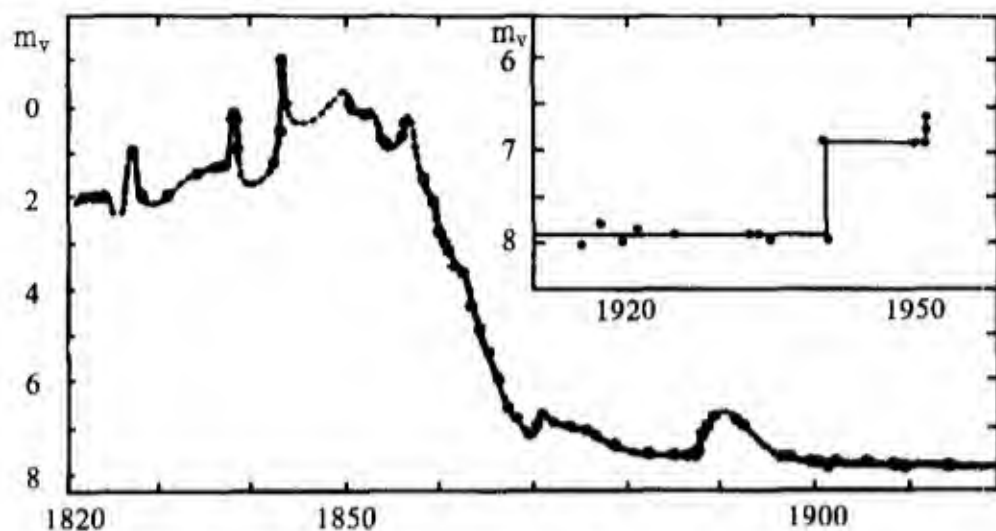


图 27 船底座 η 星的光曲线(1822 ~ 1952)

这张时间和目视星等的坐标图上表现 19 世纪前半期耀光情况,右边框内表示近年来的增亮情况。

战后不久,光电倍增管被克龙首先用来作恒星的光度测量,跟着就被很多天文台普遍地采用,于是在恒星光度的部门里形成革命性的进步。本世纪前 25 年用照相的方法所规定的恒星光度和颜色的国际标准,由光电法查出有少许的误差,已经加以纠正,更经过斯迪宾、惠特弗德、克龙、埃根、约翰生、摩根等人的研究,新的基本标准也有改进。还有人想将南天的星归纳到北天的标准里去,借以取得整个天球上天文光度的均匀性,这是一个困难问题,早期目视的和照相的方法都没有能够解决。同时有人对南天的星做了大规模的光度测定,主要是好望角天文台的斯多艾(J. Stoy)和他的同事做的。这种研究几万颗星的长期繁重的工作,对于促进南天的探索是很重要的。

恒星的光度 根据光电方法更精密地测定恒星的光度与颜色,对于了解恒星的物理和分群,是有重要意义的。这新技术经埃根应用到银河星团(如昴星团)。1950 年他宣布对几个银河星团寻得赫—罗图的“精细结构”,即是星团里星的颜色和绝对亮度的相关图线^①。

在以前已知的矮星、巨星和超巨星(第六章 § 42)之外,20 世纪 30 年代里斯冲伯格(G. Strömberg)和柯伊伯还发现有亚巨星和亚矮星的

^① 因为星团里的星对于地球的距离,可以算是相同的,视星等 m 与绝对星等 M 之差 $m - M$,对于所有星团里的星是一样的,因而叫做是“距离模数”。

存在。埃根更细分为蓝矮星、亮矮星等,这是他从一些星团和近邻星里证认出来的。可是这些分类法受到许多研究者的批评,因为他们从同样或更高精度的观测中未能证实这种精细结构,所以这问题还不能算是解决了。但是这工作的功绩当是使天文工作者了解对星团作精密光度测量有重要的意义,于是在恒星演化的问题上得到许多重要的发现。

星团 例如 1954 年约翰生比较几个银河星团的颜色—亮度图之后,发现这些星团中处在主星序上部的星有一逐渐演化的迹象。对于比太阳更明亮的星来说,演化的趋势是由早型的矮星到晚型的亚巨星和巨星,至于暗星在同时期里却无演化的显著迹象,至少在性质上这一结论与恒星演化的现今的看法是相合的。

相似的,也许是更有意义的发现是由球状星团里亮星的系统研究得来的。这样的研究,40 年前夏普勒已经用照相的方法做过,近年来更由别的研究者再做过。可是这些结果的意义,直到 1943 年巴德认识了恒星应该分为两大族之后,才被人了解清楚:星族 I 属于太阳附近与河外星系旋涡臂上的星,星族 II 属于球状星团、椭圆星系与旋涡星云的核心内的星(参看 § 50 和 § 51)。

1950 年以来散达季(A. R. Sandage)、波姆等人对几个球状星团的颜色—亮度图作系统的测定,更说明两主要星族的赫—罗图有根本上的差异。在球状星团里主星序内比太阳明亮的矮星很少或者没有,至于蓝巨星与超巨星就完全没有了。这些星系里最亮的星是红巨星,分布在通过亚巨星的主星序上(图 28)。由图可见球状星团的主星序里有亚矮星,而无星族 I 内的一般矮星。

星球的内部构造 近年来这一类的观测使星球内部构造与恒星能量生成的理论有新的进展。由此明了爱丁顿、秦斯、米耳恩、强得斯卡诸人在战前所发展的辐射平衡的简单理论,不能够说明各式各样的恒星的构造与战后精密观测所发现的现象。星球内部能量转移的方式须将对流和辐射两种方式一并考虑进去。星球核心处是对流区首先由英国的考林(T. G. Cowling)指出,至于光球层下面还须有一个氢的对流区更由德国的比尔曼(L. Biermann)表明;在近十年内对这些对流区,天文学家做了不少的研究。自转、湍流、冲击波、脉动、磁性、化学组成,以及星际物质的吸积(accretion)等都成了研究的题材,各种不同的见解很缓慢地才趋于一致,理论工作者在说明恒星的许多新性质的

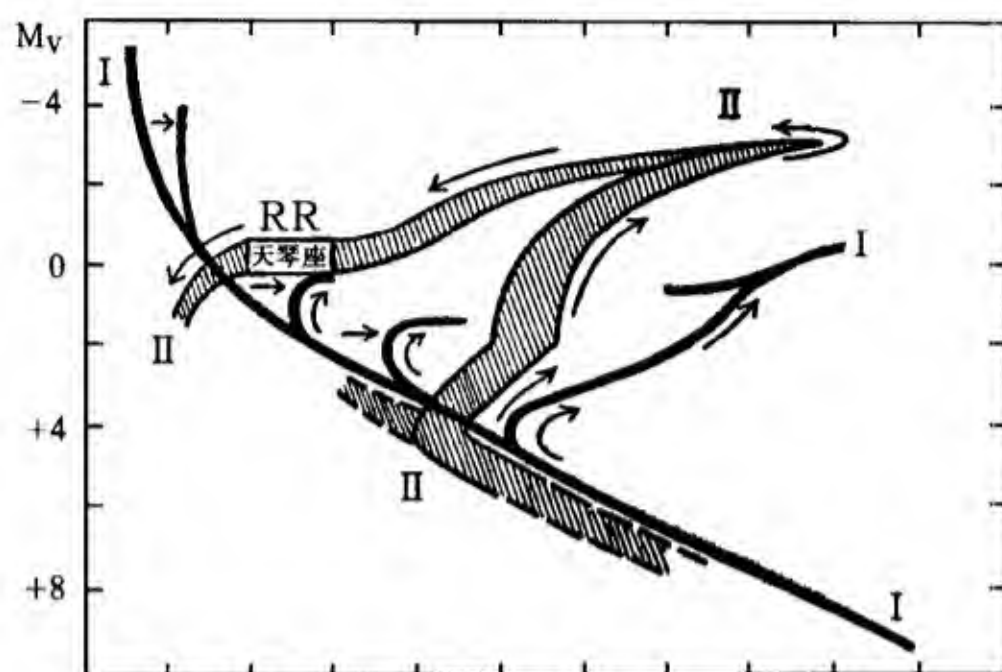


图 28 疏散星团(I)与球状星团(II)的颜色—光度的示意图
(根据约翰生与散达季的研究,1954)表示两主要星族的演化途径。

问题上还有很多的困难。

磁变星 在这些新的和料想不到的现象里,1947年威尔逊山天文台的H.W.巴布科克发现一个最有意义的现象,那便是在自转迅速的O和B型星上,有很强的磁场(常超过1000高斯)。这些磁场的成因起初说是由于恒星的迅速自转,这是英国物理学家布拉克特(P.M.S. Blackett)所提出的理论,但是实验室里在迅速转动的物体上并没有发现磁场。巴布科克更发现“磁变星”即是磁场呈周期性变化的恒星,要说明这个现象,还须明了这些星和它们的大气的另外一些机制。虽然我们还不明白这些磁场的来源,我们已经知道恒星上有这样大的磁场,必定会大大影响恒星大气和内部构造的理论。事实上磁性流体动力现象,不单从太阳和恒星的理论上加以研究,瑞典的阿尔芬和他的同事在实验室里在流体上也去加以实验。

白矮星 白矮星的数目逐渐增加,特别是由于吕伊登的努力,他从大规模的自行测量(第七章 § 50)发现了100颗白矮星之多。由统计的研究表明我们的附近有3%的星是白矮星(95%属主星序内的矮星,也许2%属亚矮星和亚巨星,至于巨星和超巨星就少得不足计数)。白矮星的早期理论自大战以后由法国的沙兹曼与英国的霍艾耳和默斯特耳(L. Mestel)的工作得到很大的发展。白矮星因用尽它内部的氢,好像已经没有原子能的来源,只是表面的薄薄一层在发出辐射,这



小麦哲伦云

图中有两个球状星团,即 NGC104(大的一个)和 NGC362(左边一个),这两星团属于银河晕。

样便说明那样大的质量为什么只发出那样少的能量。现在一般人相信白矮星的演化经过是从太亮的 O 和 B 型星耗尽了氢的供给,再经过

新星或超新星的爆发,抛弃了过多的物质而成的最后产品。

前面说过(第六章 § 42),亚当斯于 1925 年对天狼伴星的谱线位移所做的测量,证明与爱因斯坦的效应的理论值是相合的,近些年来威尔逊山天文台的博佩尔(D. M. Popper)重新做过这个测量。他所选的星是波江座 40 号的伴星 B,这颗伴星比天狼伴星暗,而且更远离主星。根据许多精密测定的光谱照片,他于 1954 年断定谱线向红端的位移,除去因由空间的运动和轨道的运动而来的成分之外,还有 21 ± 2 千米/秒,与由爱因斯坦的理论所推出的 17 ± 3 千米/秒,很是相合。

星的直径 在这一时期里,好望角天文台的埃范斯(D. S. Evans)和他的同事做了另外一系列的精密观测。超巨星心宿二(天蝎座 α 星)的角直径在 1950 ~ 1953 年间几次在月亮掩蔽的时候被加以测量,这方法在战前不久为惠特弗德所提出,那是当恒星被月亮边缘掩蔽时星光消逝的光电光度的测量。如果光源是一点,我们只观测到一种衍射花样,但是对于有可以测量的角直径的恒星,便可记录下一条缓缓变化的平滑曲线。对于星宿二所做的几次观测,求得它的平均直径是 $0''.04$,与 30 年前用迈克耳森干涉仪所测得的数值(第六章 § 42)很是相合。

光谱分类 在光谱分类方面,叶凯士天文台的摩根、巴黎天体物理研究所的夏隆日与麦克当纳天文台的斯冲格林都做过重要的研究。摩根由恒星光谱的目视考查,介绍入亮度的分类法,将光谱的分类精密化,他于 1943 年刊布了亮星的详细光谱图。夏隆日在光谱型和亮度的数量的测定上,指出光谱光度研究的重要性,特别是对早型星近紫外区巴耳末系极限上强度的骤然降低(所谓巴耳末跳变)这一点上。斯冲格林的分类法和夏隆日的方法很相似,通过干涉滤光器隔离出氢谱线 $H-\beta$ 附近和巴耳末连续区里一个窄狭谱带,然后做光谱光度的测量,这样测得的强度便是决定光谱型的一个好办法。

德国波恩的贝克尔(W. Becker)提出一种相关的方法。这是测量星的三种颜色(黄、蓝与紫外)准单色的星等,将这些星等加以适当的综合,可以精密地独立测定光谱与星际红化,但是通常的蓝、黄色指数便不能做出这样的分离。近年内贝克尔的方法主要借光电技术,广泛地应用于银河星团。这方法可以对银河星团的距离做精密测定,因而对于银河系的研究,特别有用。

50. 银河系的研究

战后天文学上最显著的进步,也许表现在对银河系的探索里,计有星际空间的分析和银河系的结构两个方面。

星际物质 星际物质的物理,经过大规模的研究,特别有贡献的当推荷兰天文学家(奥尔特、万德赫斯特、特哈尔),他们将星际物质的非气体成分叫做“烟雾”,而不叫做“尘埃”,因为尘埃是由块状固体物破碎而来的,但是根据他们的研究,那些造成吸光的暗云的微粒是由气体的凝聚与吸积而成的。万德赫斯特证明微粒的温度是 $10^{\circ}\text{K} \sim 20^{\circ}\text{K}$ 的数量级,而气体的原子一接触微粒便立刻冷凝,因而被捕获,颗粒的大小缓慢地增加。可是氢、氦与氮的原子,除了含在化合物(如各种冰)内的,以后都要蒸发。根据这些看法,星际物质的平均颗粒可以看做是微小、不纯净的冰点,而不是战前所相信的金属或石头的质点,那时人们误将星际物质和行星际的陨石混为同类的物体。可是这还不是最后的结论,我们仍然需要直接考察验证星际颗粒的化学成分。^①

在另一方面,斯迪宾与惠特弗德对早型远星的颜色作了研究,求得这些质点的平均大小。由战前的研究表明在可见光谱里,吸收度大约与光的波长成反比,因此远星的光发生红化。惠特弗德将这一观测推广到紫外区与红外区,于1949年表明星际红化的定律实际上要更复杂一些,可以表示为S形的曲线(图29),与奥尔特和万德赫斯特由理论推得的结果(1946)相合。将由观测而来的吸光曲线和根据各种大小与各种密度的质点由理论推出的吸光曲线加以比较,表明星际颗粒的平均直径是几十个微米。实际上颗粒的直径有一定的范围,不过小质点比大质点多,因为由吸积形成的大质点被相反的现象,即由碰撞而破裂的现象所抵消,因而得到一种统计的、相当稳定的平衡。至于气体与尘埃间的平衡依靠气体的密度,据荷兰天文学家的理论研究,每立方厘米内几个原子那样的气体密度最宜于颗粒的形成。虽然气体和尘埃的比例问题离解决还很远,但是现在大家承认尘埃占星际

^① 1953年比利时的斯温斯提出一种新看法,1954年经法国的凯雷耳(R. Cayrel)与沙兹曼发展,他们以为星际空间里可能有石墨质点的存在。

物质的极小成分,气与尘是并存的,两者的比例随气体的局部密度而转移,也许还有别的因素。

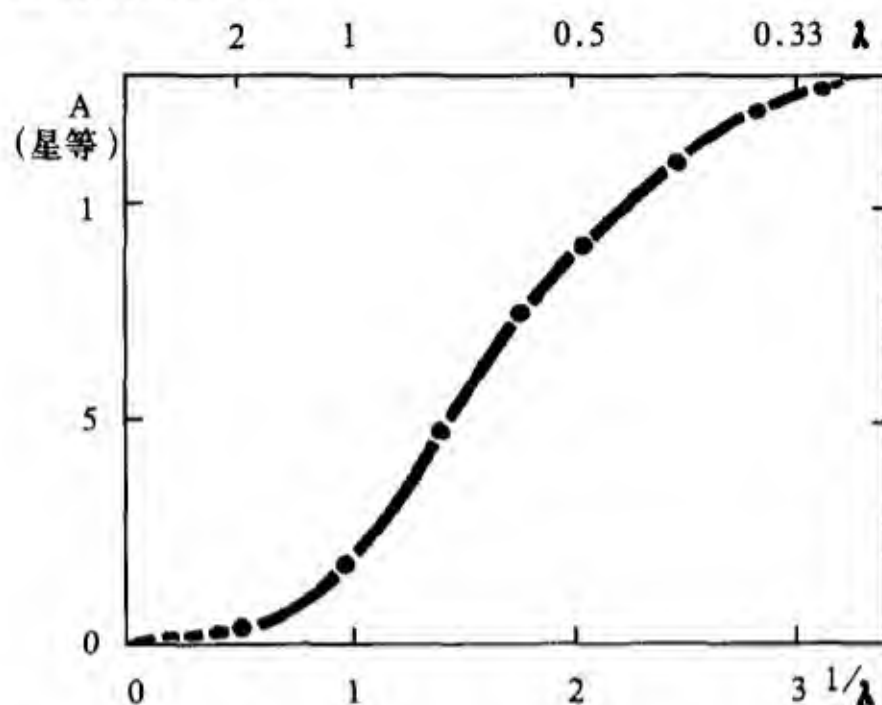


图 29 星际物质的吸光曲线(根据斯迪宾与惠特弗德,1948)

假设中性吸光可以略而不计,这幅图是将太阳周围每千秒差距的平均吸光(单位是星等)表为 $1/\lambda$ 的函数(λ 代表波长,单位是微米)。因短波段吸光多,星光在星际发生红化。

星际物质的结构战后讨论得也很热烈。波克(B. J. Bok)唤起天文学家注意天空常见的一种微小、吸光的“球状体”。形状大约是圆形,当其投射在明亮星云层的物质上时最为显著。这些球状体比通常的暗云小得多,最大的球状体直径不过 20 万天文单位(或 3 光年),最小的直径只有几千天文单位,也许到了观测的极限。有些天文学家以为这些球状体代表由星际物质凝成恒星的早期阶段,但是我们还不知道星际气体是不是也凝成球状体,只是颗粒的凝结不会有足够的物质去形成一颗恒星。

星际气体和尘埃云的湍流运动,战后得到愈来愈多的证据,且有不少理论上的研究。由对星际物质对遥远天体(如河外星系)不均匀的吸光的研究,苏联天文学家阿巴楚敏(V. A. Ambartsumian)计算出星际云的平均吸光度与平均直径,且与观测的吸光度比较以后,得出视线上每千秒差距内所有的星际云的平均数目,在银河平面上这数目大约是 10。这些云的密度的范围很大,从球状体的平均密度的几倍以至密实的球状体的密度的几千倍。据卡普登估计,这是对银河平面里物



著名的蟹状星云(M1)

它是 1054 年超新星的遗迹。由于《宋史》最早记载了这个超新星的出现,所以也叫做中国新星。星云直径为 4 光年,它仍在迅速膨胀中。它的中心有一颗脉冲星,每秒钟旋转 30 次,距离 7 200 光年。蟹状星云是天文学研究的重要对象,位于金牛座。

质的平均值上提供 10^{-27} 克/立方厘米的颗粒的平均密度,据奥尔特后来的估计是 10^{-24} 克/立方厘米,即每立方厘米约有一个氢原子。近年来由星际氢的射电波的研究 (§ 52) 得知主要是氢的气体成分的密度的变化。

偏振的星光 1949 年希特内尔和霍耳发现一个重要的现象,即远星的光因穿过星际物质而生偏振。许多年前天文工作者使用照相法对亮星寻找偏振,但是没有人找着,这工作便没有人提了。虽然星光离开光球的时候,差不多完全是非偏振的,但是在空间的途中受了与振动方向有关的吸光效应的影响,星光可能变成偏振。万德赫斯特等人接着说明这是可能的,只要吸光的星际颗粒形状不是球形的而是椭长的,并且分布是无规的,也没有位置在视线上的趋势,这样便对围绕在各方向上振动的光,有一点不同的吸收效应,因而造成了微小的偏振。偏振光的成分,平均说来,随光程在星际物质中的长度而增加,

这是希特内尔和霍耳由偏振与色余的关系而证明的。偏振与色余在银河平面上为极大,当色分是 0.2 星等,即总吸光量约为 1 照相星等的时候,偏振光的成分是 2%。

可是,色余(即吸光)与偏振之间的相关度时常是微弱的,振动的电矢的方向(一般是或多或少平行于银河平面的)在某些区域里有很大的偏向。大家认为偏振发生于个别的吸光云内,那里的情况使颗粒位于一特殊的方向上。如果星光从这样的云中穿过,它们的偏振面便很相似,于是和色余有相当的关联;如果在视线上有几个各自独立的吸光云,偏振面便不一致,色余也就薄弱了。由于星际物质里的湍流作用,这相关度的微弱是不难理解的。

要适当地解释星际颗粒为什么多数将椭长轴安放在一定的方向上,那更是困难了。有些理论天文学家如英国的戈耳德陈说椭长的粒子因和别的粒子碰撞而自转,这自转轴的方向被该区域内星际物质流动方向所决定。可是大多数理论家都认为星光偏振是星际空间有微弱磁场的表现,这是阿尔芬于 1943 年所提出的主张,后经费密(E. Fermi, 1901 ~ 1954)采用去说明宇宙线的质点的加速机制。按照 1951 年戴维斯(L. Davis)和格伦斯登(J. L. Greenstein)提出的理论,椭长的冰粒子可以被弱磁场排列在一定方向上,即使这些粒子没有磁铁的成分,因为根据所谓顺磁张弛的现象,说明磁场和粒子旋转之间有一种作用,正如地球的引力场和陀螺之间的作用一般。要解释观测到的偏振现象,磁场强度须得是 10^{-4} 至 10^{-5} 高斯,可是 1953 年昌德拉塞卡与费密对银河系旋涡臂的磁场,估计是 $6 \cdot 10^{-6}$ 高斯。在现时星际空间的物理知识的情况下,我们只能作很粗的估计。^①

银河系旋涡臂的结构 银河系遥远处旋涡臂的结构现在正在由射电天文去描绘(§ 52),但是首先表明太阳附近的旋涡臂的是许多天文学家使用光学方法所研究得的结果。天文工作者几年前已经知道别的星系里具有发射谱线的星云物质差不多完全在旋涡臂上,这一结果特别是由巴德在战争前后对仙女座星云的系统研究而获得(§ 51)。近 10 年来因为发明了选择干涉滤光器得到孤立氢的 $H-\alpha$ 谱线,对热

^① 根据凯雷耳和沙兹曼的研究(1954),星际烟雾里的石墨晶体可以被数量级是 10^{-5} 高斯的弱磁场排列整齐,即使这些粒子一小部分被排列在一定方向上,也可以说明观测得的偏振现象。

星(早型超巨星)周围刺激气体发出极弱的荧光的发射区域的研究变得更加容易。这理论于1940年由斯冲格林提出,算得在热星周围氢气电离的球的半径(这叫做H II区,星际氢非电离的区域叫做H I区)。最后,由于摩根和他在叶凯士天文台的同事对光谱分类的改进,天文学家得以更精密地测定早型星与星云物质的距离。

由于摩根、夏尔普勒斯(H. Sharpless)与奥斯特布洛克(D. Osterbrock)对银河系H II区(即发射星云物质)所作的系统研究,1952年绘出距离最近的H II区的位置,第一次表明它们有绳形的分布情况,这显然是银河系最近的旋涡臂的截面情况,并且加以扩充,更能得到由射电天文对H I区分布结果的支持。

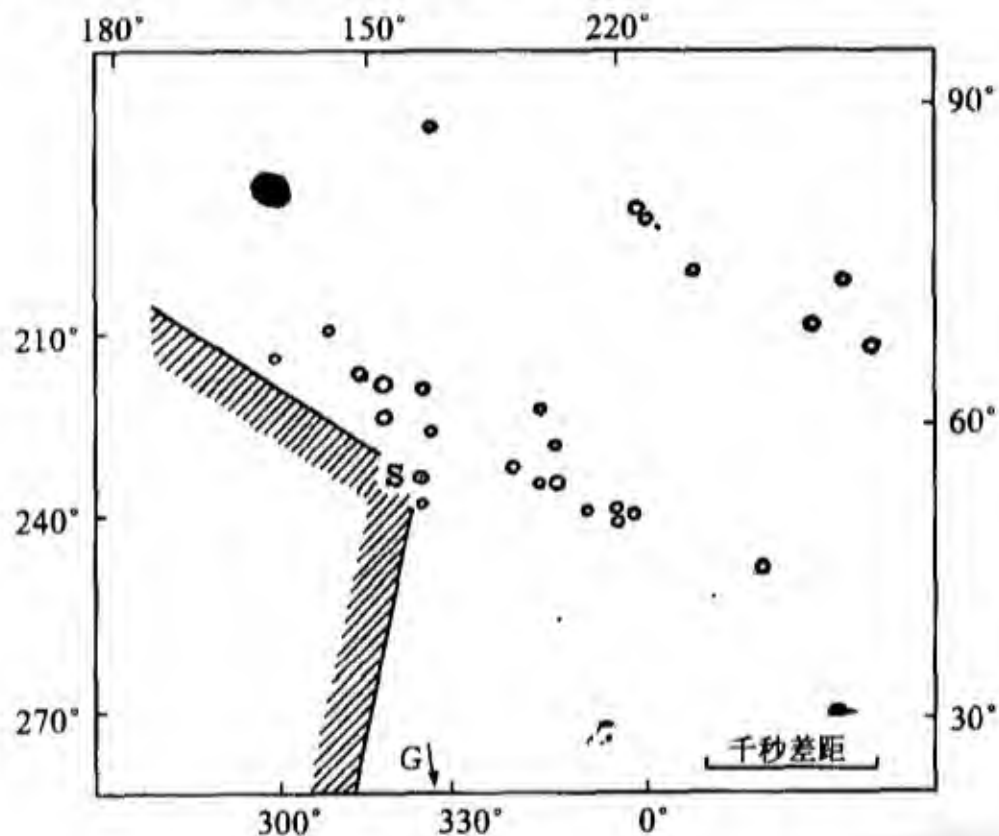
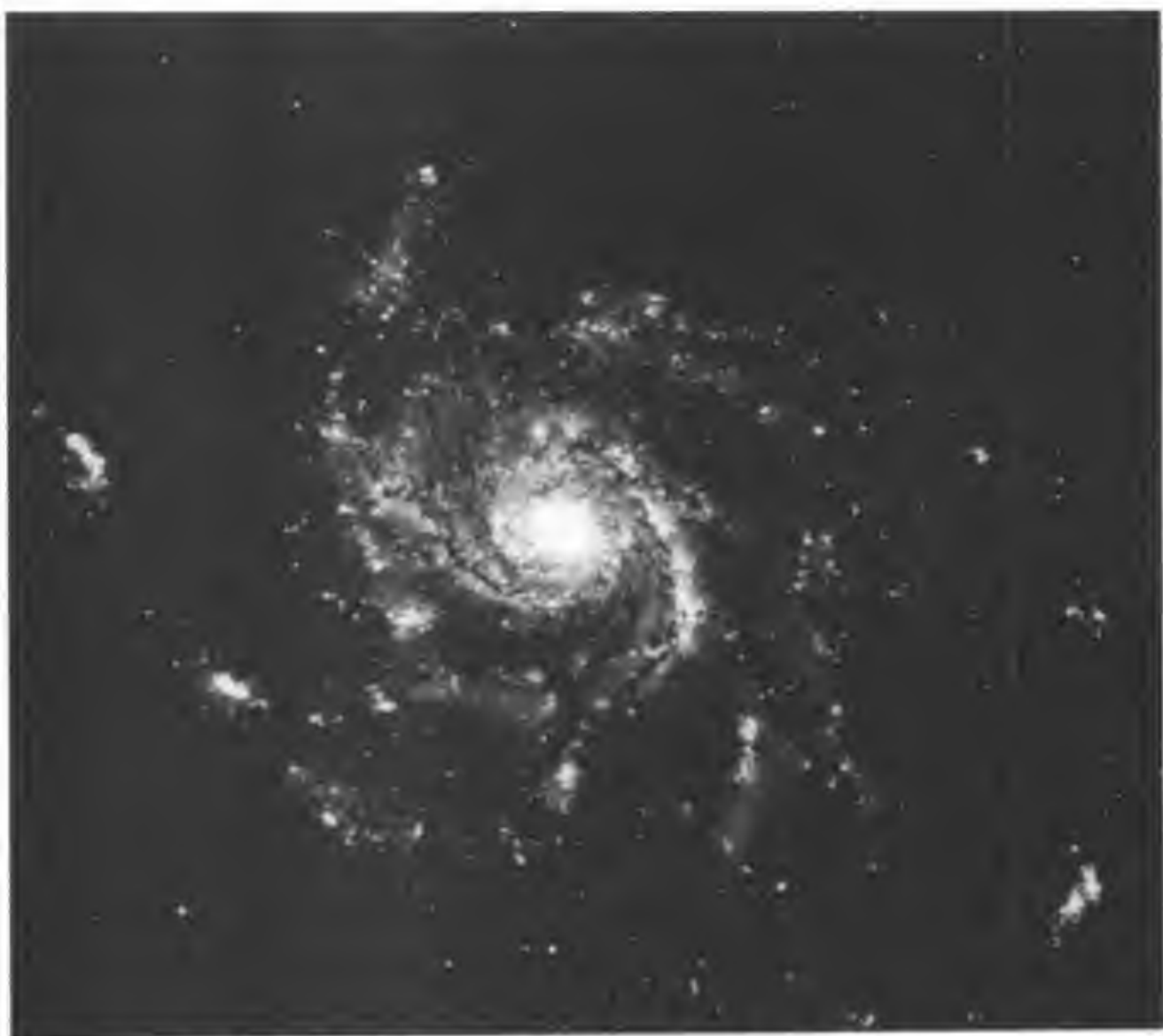


图 30 由发射星云气

(H II区)所描绘出的太阳(S)附近银河旋涡臂的截面图(据摩根等人的研究,1951)。银河中心G的方向由一箭头表示,四周标出银经的度数。阴影的部分(南天)是还未观测过的区域。与图35比较。

银河系旋涡结构的问题,一世纪以来天文学家一直无法解决,即使在20年前,亦被认为是复杂到令人绝望的问题,现在一旦解决,当是战后天文学上巨大的成就。虽然银河系结构的细节还须研究,但是最困难的第一步工作既已完成,迅速的进步正在实现。

星协 天文工作者对与发射星云联系或不联系的O.B型星群给



大熊座旋涡星云 NGC5457 和三角座旋涡星云属于同一类型

予很大的注意。1947 年苏联天文学家阿巴楚敏根据理论预言这样形成的“星协”是最近期的结构,现时还在膨胀之中。首先,特别明亮的星很少,以宇宙为尺度来说,生存期当很短暂(不过几千万年),而且星协的总质量很少,因此在由银河的较差自转的扰动下,是不稳定的。现今应该还有这样的星协,它们形成于几百万年以前,现在迅速扩散之中。这预言果然于 1952 年由荷兰天文学家布洛夫(W. Blaauw)证实,他从自行的分析说明,由英仙座 ζ 星附近的星协的膨胀率推断,在 100 万年以前这星协的成员还拥挤在空间的一个小区域之内,可以假定它们是在那里同时形成的。这以后布洛夫和摩根发现了许多星协,都在膨胀之中,它们的年龄据计算在 $10 \sim 5\,000$ 万年之间。最显著的一例当是以猎户大星云为中心的那个星协。布、摩两人于 1954 年说明御夫座 AE 星和天鸽座 μ 星现今离开猎户星云虽然都相当远,离开这星云的速度是 127 千米/秒,将这运动倒推上去,大约在 260 万年

以前,这两颗星当必是很接近的。

虽然我们还不明白这些星协的起源与其膨胀的原因,但是它们好像给我们表现了一些恒星形成的机制。奥皮克(E. Öpik)提出一种理论,他说:由于超新星的爆发造成膨胀的气壳,扫过其周围的星际物质,以后便凝聚成星和星的膨胀运动。

我们能够研究得知银河系里有星协和它们的膨胀运动,那是因为自从布拉德累精密地测定恒星位置(第三章 § 14)200 年以来,天文工作者在基本观测上累积了很多的资料,使我们很精确地求出几千颗明星的自行。这说明方位天文学的永恒的根本的重要性,最近二三十年以来,天文工作者作了很大的努力,去增加测量的精密度(§ 47),并且对于较远的星寻求关于运动更多的知识,这样才能使未来的天文工作者能更深入地去探查银河星系。在这种长期工作中一个显著的贡献当是吕伊顿经过 25 年的系统观测,于 1954 年完成的一个工作。吕伊顿使用闪视镜比较相隔若干年所拍的两张照片,考察了 1 亿颗星,只寻得 10 万颗有可以由测量求得的自行。

银河系的核心 银河系里远距高处的探查(特别是因近处暗云所掩蔽了的银河核心,不能用可见光去发现的部分),在战后也有很大的进步。星际物质的吸光度按波长而有不同,红外光被吸收的成分最少。斯迪宾与惠特弗德利用这个性质,于 1947 年使用对红外光很灵敏的光电管在人马座里作系统的扫描,查出银河星系的中央突出部分。这样绘出的椭圆形的等光线和以前求得的银河系中心的方向,显然是同心的。这结果迅速地被苏联天文学家卡林尼亚克(A. A. Kalinik)、克拉索夫斯基(V. Krassovsky)与尼科诺夫(V. B. Nikonov)证实而且加以扩充,他们于 1949 年使用“电子望远镜”(即电子像管)拍摄得这一区域的红外照片。苏、美两国天文学家所用的波长都大约是 1 微米,但是 1952 年一部分法国天文工作者在杜费的指导之下,拍摄的红外照片,使用的波长只有 0.8 微米,于是将远方的恒星云分解为个别的恒星。

银河系的核心距离也更精密地被人测定,一方面是因为我们更明白星际的吸光,另一方面由于巴德对于核心处的(和嵌在核心处的)球状星团里的变星的研究。1949 年巴德估计这距离是 9 千秒差距;1948 年巴联拉果(P. P. Parenago)估计是 7.5 千秒差距,1953 年巴德再推得的数值是 8.2 千秒差距,当和这基本距离的最后测定很接近了。



猎犬座大星云 M51

图上有两个主要的旋涡臂，一臂的末端有一大片附属物。臂上的稠密点是埋没在星际物质里的热星星团。

51. 河外星系的研究

帕洛马山上的 200 英寸(5 米)口径的望远镜和它的辅助仪器 48 英寸(120 厘米)口径的施米特照相镜,安装的目的,本来是为了推进河外区域的研究,使其能够解决 30 年以前 100 英寸口径的望远镜(第六章 § 44)所开拓而未能解决的问题。在安装好以后初试观测的前 5 年(1948 ~ 1952),帕洛马山上的这两具大望远镜便得到许多新的和料想不到的结果,证实了赫耳和他的同事们寄予大望远镜的希望。

在使用 120 厘米口径的施米特望远镜巡天观测中,A.G. 威尔逊等人新发现了几个近的矮星系,证实了战前天文学家的猜度:河外空间即使是它最近的部分,我们也还不大明白。兹威基使用 18 英寸(45 厘米)口径的施米特照相镜在早年所做的巡天观测中,已经断言矮星系比一般人所想像的还多,但各种累积和绝对星等的星系的数目(即河外星系的“亮度函数”)还知道得很不确切。事实上我们也不明白星系的大小和内容是不是有一个下限,很可能有亮度低的很小的星系还没有被人发现,因为这些星系既小且暗,即使其在比较近处也不能被观测到。这一困难和寻找本身很暗的恒星的情形很是相似。

星系团 许多年来兹威基就主张星系之间有弥漫星群和比银河系范围小的气体与尘埃组成的云,这正如战前人们误将有星际物质存在的空间认为是完全的真空一般。可是这还是一个被不断争辩的问题,但是近些年来积累了一些照片的证据,支持这个看法,即是说物质以可感觉到的分量出现在星系之间,特别在星系团之间。1934 年基南(P. C. Keenan)在叶凯士天文台发现一对奇特的星系,显然是被一条暗淡的星云气形成的带子联系着,像它们当中的一座桥梁那样。这个唯一的例子在当时并没有引起人们的注意,可是兹威基在用 48 英寸施米特镜所拍的照片上发现了很多像这样被星云气联系着的星系。这些纤维状物质随星系的形状(旋涡或椭圆)和星系的距离而有各式各样的表现,大体说来好像是因星系间万有引力的作用而引起的潮汐作用的表现,不过还没有经人提出详细的理论。

这种纤维物质的一个显著例子于 1954 年由本书作者在澳洲联邦天文台发现,这像是大麦哲伦星云的一条外旋涡臂,在南天上伸展达 20 度之长,方向大约是离开银河,也许是重的银河星系和轻的麦哲伦

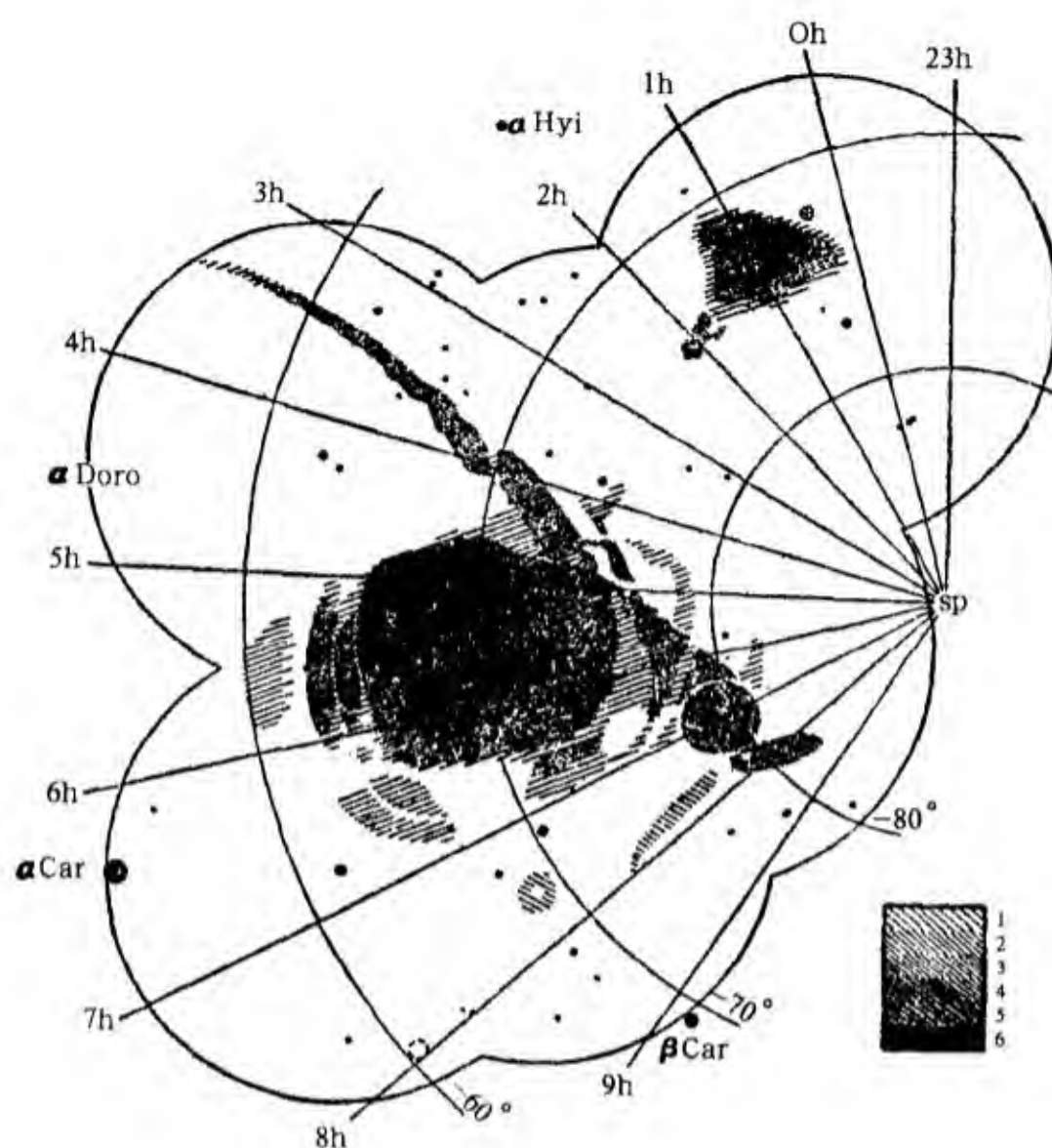


图 31 麦哲伦星云旋涡结构的解说图

星云之间的潮汐作用的表现。1940 年夏普勒已经发现小麦哲伦星云在大麦哲伦星云的方向有不对称的突出部分, 现今又发现一些证据, 表明银河系与大麦哲伦星云之间有较弱的直接联系。这现象用射电波观测 (§ 52) 更加显著。

所有这一切观测都说明战前对银河系的形状与运动的见解都太简单化了, 因而不合适的, 要说明现今所知道的复杂情况, 不能只用经典动力学的简单定律, 而须把它们当做流体力学或者磁性流体动力学的现象来解决。鉴于这一点, 1949 年天文学家和流体力学家在巴黎召开第一届国际会议来讨论宇宙流体力学的大型问题。这样的国际会议连续召开了几次, 使这两门科学都得到一些进展。

河外宇宙在战后表现得日益显明的另外一个重要特征, 便是星系普遍都有集团的趋势。根据 30 年代的抽样观测所提出“普遍力场”的



草帽星系 M104(NGC4594)

位于室女座的河外星系,以其美丽的外形酷似草帽而得名,距离约 4 600 万光年。

概念,星系是孤立的集团的概念已逐渐被人放弃,大多数(纵然不是全部)星系都属于各式各样大小的集团,换句话说即是星系整体的分布,亦如在个别星系里恒星的分布一样,万有引力是一个主要因素。这一结论是最近 20 年内由哈佛的夏普勒和帕洛马山的兹威基的部分星系的研究而得出的。最近几年沙恩和他的同事们用 20 英寸口径天体照相机拍摄所有比 18 等亮的河外星系,原来的目的是积累照片,为将来测量恒星自行时,将遥远河外星系作为固定的背景(§ 47),但将这些河外星系的分布绘成图画的时候,便确定了河外星系真是成群集团的天体。

距离近而且明亮的星系(包括银河星系)组成一个“超星系”的大集团,1953 年本书作者已陈述初步的证据,接着就得到射电天文研究(§ 52)的证实。银河星系和几个其他的星系好像同属于一个巨大的扁平集团,直径大约是 5 000 万光年,中心大约在距离 2 000 万光年的室女星系团内(图 32)。我们该知道这样的星系团形状极不规则,我们

更确切地把它叫做“星系云”。这些云的扁平形状表现有一普遍的自转,但是个别星系在集团里的运动是很不规则的。

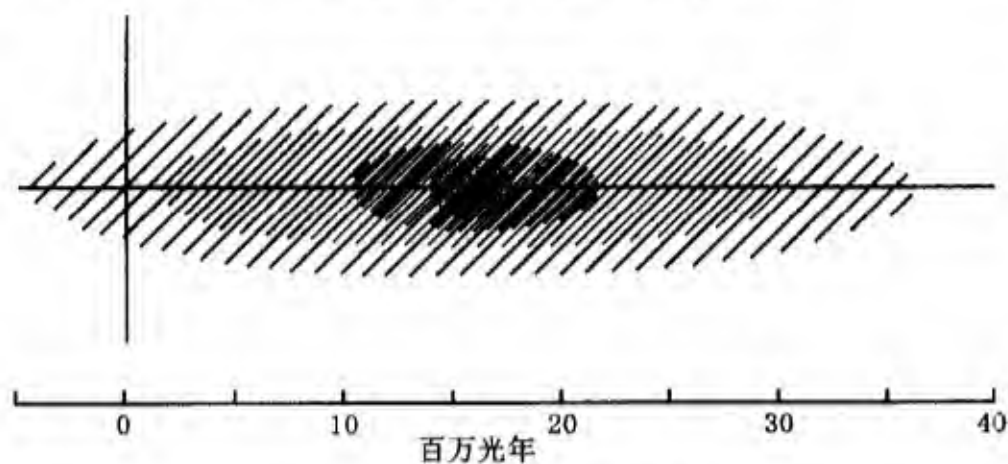


图 32 本超星系的截面示意图

表示高度扁平的形状。中心在室女座内。银河系的中央面绘在图的左方,尺度夸大很多,与超星系的中央面差不多正交。

这类研究因缺少明亮星系间的运动的数据,受到了阻碍,1936年哈马森所刊布的大约100个河外星系的视向速度是20年来仅有的资料。威尔逊山的哈马森和里克的默亚耳(N. U. Mayall)继续耐心地观测,于1956年终于刊布800个明亮星系的视向速度。同时这些星系的星等经斯迪宾、惠特弗德与白提做了精密的光电测量,同样的工作瑞典的霍姆白格(E. Holmberg)和法国的比格(J. Bigay)都曾经做过。星等、颜色与视向速度是研究河外星系必需的基本资料,如果没有可靠的数据,理论的结构既不稳固,校核也基本不可能。

我们在这里可以提一下,1948年斯迪宾和惠特弗德所宣布的、引起许多争论的一个现象。这就是他们以为遥远星系光谱上的红移,与邻近的星系比较,必然使它们的光线红化。因为用光电方法作颜色的测量,比长时间露光拍摄遥远河外星系的光谱费的时间少,所以用光电方法去大量地做红移的测量是可能的。他们的观测结果和对结果的肯定解释都是人们没有预料到的,因为天文学家用以建立速度距离关系的星系团里最大的椭圆星系(第六章 § 44)其红化程度远远超过从近处椭圆星系M32(仙女星云的伴星云,经斯、惠二氏选为测量的标准)的红移和光谱能量曲线所算出的数值。

这样对于椭圆星系里星族随时间可能没发生的变化,产生了很多的猜想。我们所看见的遥远星系,是靠几亿年前从那里所发出的光线。史瓦西耳德和沙兹曼等从迅速演化的观点去看这个问题,他们以



后发座里河外星云团

距离是 2 600 万秒差距或者 8 000 万光年(新尺度),这个集团的范围超过照片的界限(北方在左面)。

为几亿年前存在于椭圆星系里的恒星,已经成了过去,不复存在于近的星系里了。这些猜度都经证明为没有根据,因为据惠特弗德对一些椭圆星系(近的和远的)的光谱的能量分布的研究,没有证实远的星系

有过多红化的现象^①。

在这个时期里,哈马森将低色散的快速摄谱仪装置在 200 英寸望远镜上,在相当短的露光时间内,便可拍摄到又暗又远的星系的光谱,于是将距离—速度的关系大大地扩充了。100 英寸望远镜所不能达到的星系团的红移,不久也就求得了,1951 年哈马森刊布了关于星系团的一些数据,最远的是长蛇座内的星系团,由其红移推出的速度达 61 000 千米/秒之巨。这速度相当于光速的 1/5,战前哈勃等没有能够由威尔逊山的数据表现的二阶效应,可以显现出来,使我们可以对各种宇宙论的模型加以选择。据哈勃 1953 年的初步讨论,视向速度和视光度距离之间的线性关系对于那时所掌握的资料仍然是有效的。^②

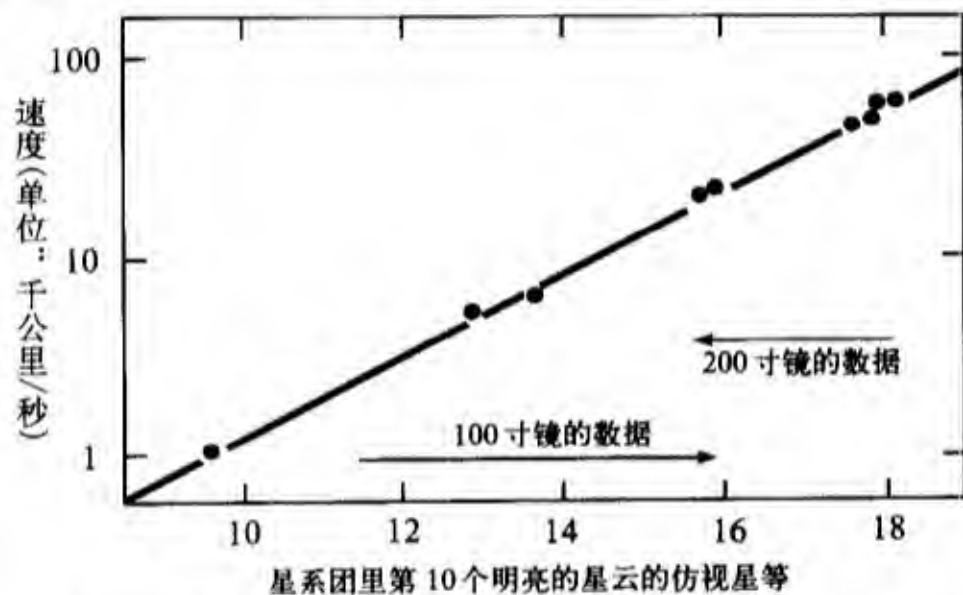


图 33 速度—星等关系(根据哈勃与哈马桑的研究,1953)

遥远星系团的速度(对数标尺)和每一星系团最亮的 10 个星云的仿视星等的关系由上图表示出来。最后四点是从 200 英寸望远镜得来的新资料。由测量得来的最大速度 61 000 千米/秒,属于长蛇座内的一个星系团,估计的距离是 8 亿光年(修正尺度)。

周期光度关系的零点校正 可是这问题的复杂日益明显,因为理论的和实际的困难既经仔细的讨论,而又经证实了战前的工作之不可靠。使用 200 英寸口径望远镜研究河外星系的一个最显著的成就,便

^① 这意味着不是 1948 年以来被当做 M32 的标准能量曲线有错,便是 M32 不是典型的标准。

^② 1956 年散达季根据里克和威尔逊山更多的资料,发现速度超过 4 万千米/秒的时候,线性关系上稍微有一点偏离,但是光度的数据不太好,仍然不能作为最后的结论。

是根本修改了银河系以外的整个宇宙的尺度。我们已经说过,自从造父变星周期光度关系被发现以后,河外星系的距离的根据,是赫兹斯朋和夏普勒对于这关系所定出的零点(第六章 § 42);天文工作者一向假定近处的银河造父变星和球状星团里的造父变星遵循相同的周光关系,而且由这一关系,麦哲伦星云和别的河外星系中有效的一支,亦可直接和由球状星团所观测得出的关系相比较。因此由河外星系里一颗造父变星的视星等 m , 和定标曲线里同一周期处读出的绝对星等 M , 便可求得这星系的距离模数 $m - M$ 。利用麦哲伦星云、仙女座星系和别的河外星系这样测定的距离,这些星系里别的天体如新星、球状星团等的绝对星等就可以定出来。在 20 世纪 30 年代里,人们已经觉察这些天体由这样测定的绝对星等,和在银河系里独立测定的绝对星度,是很不相合的,但是造父变星的尺度的精确性在天文学界里已经成了信奉的对象,大多数天文工作者宁愿将新星或星团的绝对星等在河内的和河外的可以相差至 1 或 2 等这一事实置之不理。只有瑞典的隆德马克(K. Lundmark)在大战前后发表了几篇文章唤起人们注意这种差异。1946 年他特别指出除了由造父变星的方法,一切别的方法都使仙女星云的距離两倍于一般公认的数值。

1945 年米内尔(H. Mineur)在巴黎根据焦艾所测得造父变星的大量的视向速度,重新决定周光关系的零点,他发现这关系的定标实在有些错谬,但是他却不明白他的结论的原因与意义。河外星系的距离的标尺经巴德给予最后的否定,这是他于 1952 年宣布用 200 英寸口径望远镜在仙女星云里找不到星团变星(即天琴 RR 型变星)的结果。他这一研究的经过是这样的:如果我们假定根据长周期造父变星对仙女星云所推得的距离是正确的,于是球状星团里周期小于一天的较暗的造父变星(亦称星团变星)便可被 200 英寸口径望远镜观测得到。可是经过巴德彻底的搜索,总找不着这种变星,因此根据长周期造父变星所求得的距离是错谬的。相反的,如果我们采用由新星、球状星团和其他标准所求出的距离,去推算仙女星云里星团变星的视星等,便会暗到不能被 200 英寸口径望远镜所观测到,于是这否定的结果便得到了解释。

这结论立刻得到许多别的研究的证实,例如撒克雷(A. D. Thackeray)与韦斯林克(J. Wesselink)用普累多利亞天文台的 74 英寸(185 厘米)望远镜在和麦哲伦星云联系的几个球状星团里探寻得星团变星;

这些变星的视星等是 19, 以前哈佛的天文工作者使用旧的距离模数把这些变星当做是 17 等星去寻找, 便没有成功。在麦哲伦星云里所观测到的球状星团、新星、发射星云等天体都完全证明这两座星云的距离模数应该比以前采用的数值大 1.5 星等, 因而距离应远一倍。

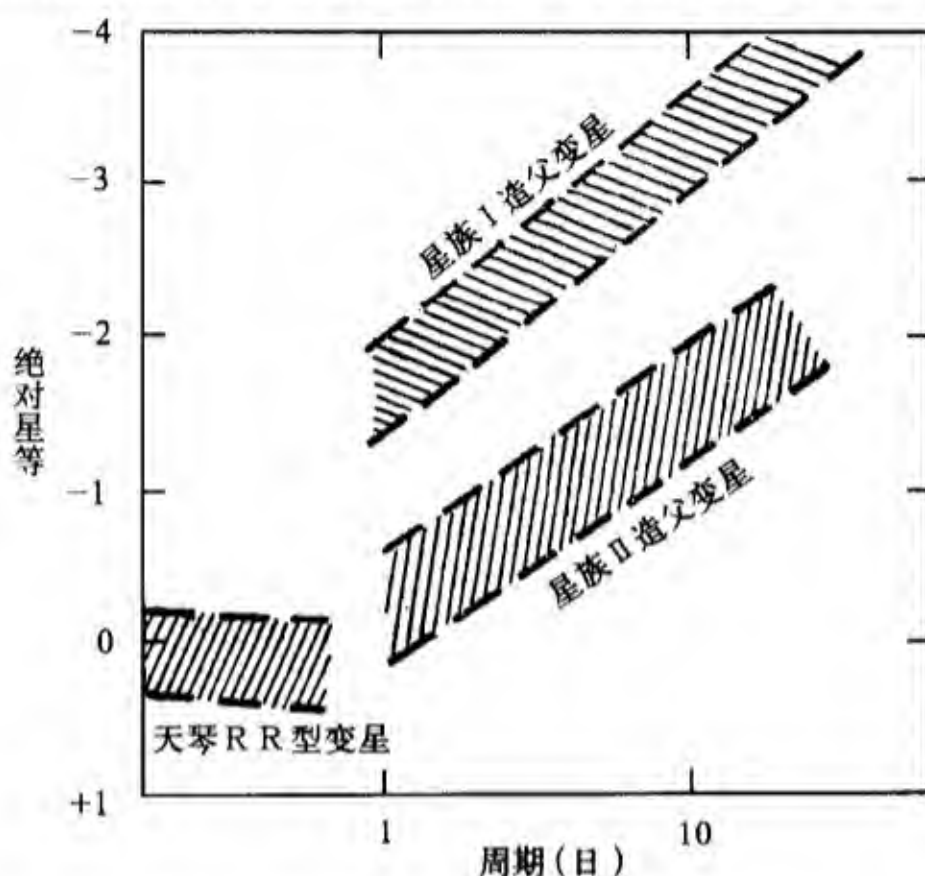


图 34 造父变星修正后的周光关系(1953)

在银河系与河外系里所观测得的经典造父变星(属星族 I)遵循的周光关系平行于球状星团里的造父变星(属星族 II)的周光关系, 但亮 1.5 星等; 星族 II 型造父变星的光度可以和短周星团变星(天琴 RR 型星)比较而加以直接的测定。和图 22 比较。

从前对于周光关系定标上的错误, 很快就被查出来了: 原来银河附近的长周造父变星属星族 I, 这些是银河系旋涡臂和别的星系(如麦哲伦星云与仙女星云)的特征变星, 因而不和属于星族 II 的星团变星遵循相同的周光关系, 星族 II 是球状星团或银河核心里的特征星。1954 年布洛夫与摩根更根据近的银河造父变星的自行, 彻底修正了它们的绝对星等, 证明了这些星的光度以前被低估了差不多 4 倍, 因此从旧的周光关系所推出的距离应该加倍。

我们须注意球状星团与银河核心的距离是根据星团变星所推出的, 所以有关银河系内部的距离(特别是银河系本身的大小), 没有什么大的改变, 只是我们须承认星团变星的平均绝对星等为 0.0 是正确

的(苏、美两国天文学家最近将这数字估计为 $+0.2$ 或 $+0.5$),但是所有的河外星系的距离,根据经典造父变星从前错误的定标点所算出来的距离都应该加倍。可是这问题还没有得到最终的解决,将来有更远的天体提供讨论的时候,可能还有另外的改正,也许要将旧标尺内别的误差加以修正,还须使用一个大于2的倍数。

虽是这样,这个巨大的修改实在得到许多独立研究的支持。不但在造父变星的脉动理论上,因距离增长使密度变低,消除了一些理论上的困难,而且在由放射物所推出的地球年龄和由距离—速度关系所推出的宇宙年龄,不相适合的疑谜也得到了解决。在旧的距离尺度里,膨胀速度是每百万秒差距内550千米/秒,由这数字推出的宇宙的“年龄”还不到18亿年,只有公认的地球年龄35亿年的一半;为了延长时间尺度去包括由放射物所推出的时间尺度,理论工作者在宇宙论上作了一些巧妙的但是不可靠的假设。地球的年龄与宇宙年龄相合的结论,被人当做是某些宇宙论,如“原始原子理论”(第六章§45)的一种有力的说明,根据这一理论,一切可见的宇宙都在同一时期开始,只诞生于几十亿年前某一次“灾祸”里。这两种年龄的相合也许只是偶然的,因为我们了解一方面关于距离标尺的问题还没有得到最终的解决,另一方面把红移现象解释为宇宙膨胀也还没有得到一致的承认。

有些天文学家,例如兹威基,还在观测和解释里寻觅缺点或者矛盾,想去避免这一种怪诞的结论:“宇宙开始于不久以前的一次爆炸,于是无限地向外膨胀,终于弥散到一种空虚的境界。”至于这样的努力是不是可以成功,那是属于天文学的将来,而不是过去历史上的成就了。

52. 射电天文学

自从第二次世界大战以后,光学天文学虽然取得不少惊人的成就,但是最近十年来最伟大的进展当推以宇宙间的射电波去研究天体的射电天文学。

太阳可能是射电波的来源。无线电发现的初期已经有人讨论过,本世纪之初,英、法两国的物理学家已经做过实验去探寻太阳的射电波,但是那时的接收器灵敏度很差,所以那些粗糙的实验没有获得成功。

早期的发现 第一次观测到地球以外的射电源是从迥然不同和料想不到的方向而来的。1931~1932年间美国无线电工程师江斯基(K.G.Jansky)研究短波收音机里由天电而来的噪声,他将有高度指向性的天线指向天空各处;他发现当天线指向天球上某些区域,特别是指向银河附近的时候,噪声特别响亮。当天线指着人马座、银河中心的方向时,这种“宇宙噪声”便达到极尖锐的强度。

这些奇特的观测接着被另外一位美国的无线电工程师尔伯(G.Reber)加以证实和扩充。尔伯早在1936年便建起第一座“射电望远镜”,这是一具口径9米的巨型抛物面接收器,工作于2米长的波附近。他由此绘出天空的“射电图”,内容是宇宙噪声的等强线,在银河里这些射电等强线一般是与光学等强线相合的。最奇怪的是尔伯的仪器虽然相当灵敏,但却不能检验出由太阳而来的射电波。

这便是第二次世界大战结束以前射电天文学萌芽的情况。战争终了,英国和澳洲的几个科学工作队,利用战争期间雷达技术的经验,努力从太阳方向探索。

太阳的研究 事实上,在战争时从太阳而来的射电信号已经被英国沿海的陆军雷达队所探得。1942年2月26日这些雷达队报告各台站发生异常信号的干扰,来源的方向都说指向太阳。在白天这些干扰来源的方向随太阳而移动,日落后就消逝了。第二天又出现,到第三天干扰才衰弱而归于停止。因军事保密的缘故,这个奇特的现象当时没有公布,直到战争结束以后的1946年,英国雷达研究所的阿普耳顿爵士(Sir Edward Appleton)才透露了这个消息。由天文观测得知那时有一个大黑子以及和它联系的耀斑正经过日轮的中心线,因此大家才明白这些射电干扰的来源是与日面活动的光学现象(黑子和耀斑)有联系的。

于是先在英国和澳洲,以后又在其他国家,组织了系统的观测,去研究由太阳而来的射电波。不久便发现除了与太阳大气里光学扰乱相联的射电爆发,经历几小时乃至几天的现象之外,还有经历几秒或几分钟即消逝的短暂爆发,而且在“宁静的”太阳上也有更微弱而常存在的射电波。大战快结束的时候,美国的雷达接收器已经以3和10厘米的微波,首先查出这种太阳上常有的弱波,而且在这以前尔伯已经发现了波长1.9米的太阳辐射。这两种辐射的强度都远远超过6000°K光球所发的热辐射。射电异常爆发时的辐射大部在1~10米

之间的米波段内,至于经常爆发时的辐射是更平均地分布在射电波的极短区域内,自几厘米波长开始,能量逐渐增强;至于宁静的太阳所发的辐射以短于1厘米的波为最强,波长上升至1米时逐渐减弱,波更长时便减弱到很低微不能辨认的地步。

因太阳现象对于无线电通信具有重要的意义,自大战以来,太阳射电的工作做得很多,因而也有不少的收获。我们只谈几个重要的成就:澳大利亚悉尼(Sydney)射电物理实验室的威耳德(J. P. Wild)和马克累迪(L. L. McCready)于1949年制成“射电分频仪”(Radio-spectroscope)。这仪器可于每秒钟内扫过频率相当宽的一带,他们于是查出在大爆发时所发的辐射频率是有变化的,而且这些辐射里会出现谐波。这些观测经人解释为太阳发出高速(1 000千米/秒的数量级)质点的表现,这些质点接触地球的时候可能造成磁暴与极光。射电观测也表明太阳发射超高速的质点,速度之高直可与光速相比。

另外一种卓越的仪器叫做“射电干涉仪”,是克里斯田森(W. Christiansen)于1951年在悉尼所发明的。他将粗衍射光栅所作成的抛物面反射镜32架排成一行,使接收的图形是宽窄相间的条纹。当太阳经过这仪器的视场时,每根条纹扫描日轮的情况和摄谱仪上的光缝一般(第六章§38),于是可以很精确地定出射电的来源在日轮的哪一点上。射电天文工作者使用这个仪器可以详细地定出黑子、氢气谱斑以及其他活跃区域里特别强的射电波的来源。

另外的重要观测是在日食的时候作成的,因为月轮逐渐掩蔽日面的时候,是我们研究日面上一定区域的射电辐射的一个最好的时机。由这些和其他方法所得的大量的观测数据,经许多理论工作者的研究,发现了太阳大气里射电波起源的几种机制。例如日冕内电离气体的“等离子区振荡说”(plasma oscillations),于1946年经苏联天文学家史克洛夫斯基(I. S. Shklovskii)倡导于前,更于1947年经澳洲的马尔提恩(D. F. Martyn)赞同于后,近年来引起许多研究者的讨论。这些振荡是在高温低压的日冕里容易找着的带电气体团内所形成的。这样的机制虽然可以说明射电爆发,但是要建立一个圆满的理论去解释由太阳射电波的研究所表现的复杂现象,还有许多细节须待澄清。

流星的观测 虽然射电天文学的迅速发展主要依赖雷达的技术,可是研究太阳和宇宙噪声的射电望远镜只是一种收集电磁能量的仪器,正如光学望远镜是一种收集光线的筒子,同是被动的观测仪器。

但是射电天文学里有一分支,使用了雷达的全部技术,换句话说即是我们先将射电波从定向天线射出,再接收遇着障碍物回来的反射信号,然后加以检验与分析;如果障碍物是流星,我们便可用雷达去观测流星。1948年10月10日流星雨出现的时候,英国曼彻斯特(Manchester)焦德堤(Jodrell Bank)实验站的射电天文工作者在洛佛耳爵士(Sir A.C.B. Lovell)领导下,将这方法作了大规模的使用。这阵流星雨是13年前所见的另外一阵流星雨的重演,它是由一个6年半周期的小彗星来的(Giacobini-Zinner彗星)。这阵流星雨在1933年出现时,因天气好,观测很成功,可是在1946年再度出现时,欧洲大部分地区因有月光或者云雾,观测受到阻碍,因为这两次的观测只是凭借光学的经典方法。如用雷达的方法,月光、云雾,甚至阴雨都不能阻碍,保证观测一定成功。

到了1947年用雷达观测流星的优点更加显著,用这种方法曾观测到在白昼出现的几阵流星雨;这些流星雨不在夜里出现,是天文学家所完全不知道的。这些流星雨里有几群经人证认是属于哈雷彗星与恩克彗星的。



流星的辐射点

1872年11月27日仙女座流星群的辐射点,这一群流星是由比拉彗星分裂而来的。

曼彻斯特的研究者对于流星天文学作出了很重要的贡献,他们解决了关于偶发流星的来源的争论。根据目视观测,有人以为有些非周期性的流星,速度超过抛物线速度,这就是说,有些流星是从太阳系以

外而来的。但是用目视的方法求流星的速度是很困难的,因而所得的结果是不确定的。由焦德堤所测得的流星的速度,有几千个之多,说明偶发流星和雨状流星一样,均循椭圆轨道运行,同是太阳系里的永久成员。这结果对于流星起源的理论具有重要的意义,自不待言。^①

月亮与行星 自1946年以来,许多国家向月亮发出射电波,得到雷达式的回波,由此求得月亮的距离,和由天体力学计算出的结果完全相合,理论的研究说明我们可以从太阳和行星的表面收得雷达的回波,但是技术上还有困难。天文工作者将用这个新方法去测量太阳的距离,并用射电波束去探测日冕和行星表面的温度与构造。

银河系 使用射电的方法研究太阳与流星虽然已经得到显著的效果,可是射电天文学所作出的最卓越和最惊人的发现当在广阔的银河系和河外星系的大宇宙里。

尔伯的早期工作经人重复做过,银河的普遍射电波曾被用15米至21厘米几个波段去探测过,这是为了去核验关于宇宙噪声的各种理论。对于短波而言,大部分的噪声好像由星际空间质子和电子的自由—自由跃迁而来,这些区域里因热星的紫外辐射使气体电离。但是这种机制不能说明天球上辐射的分布和频谱上能量的分布。虽然还没有一般的理论足以说明这些宇宙射电,可是在观测的过程里,却发现了一些特殊的和料不到的现象。

1946年赫(J. S. Hey)、帕尔森(S. J. Parsons)和菲利普(J. W. Phillips)在探测银河噪声的时候,发现从天鹅座一个小区域而来的噪声不是恒定的,而是像太阳的射电波那样在变化。次年波耳顿(J. G. Bolton)和斯坦勒(G. J. Stanley)使用干涉仪,根据由高岩崖上的天线直接接收的电波和由岩下海面反射的电波,两者所起的干涉现象,证明天鹅座内很小的范围内有一个极强的射电源,经人取名为“射电星”。次年赖耳(M. Ryle)和史密斯(F. G. Smith)在仙后座里又发现一颗射电星。自从那时以后,射电星的数目增加得很快,到了1950年在剑桥和悉尼两处的系统搜寻下已经查出几百颗,迄至1956年总数已经超过3 000颗。

可是这种引人注意的电波强度的起伏现象后来经人查出不是真实的,而是电波穿过不均匀的电离层时所发生的变化,很像星光经过

^① 关于“射电天文学”的技术和研究成果,可参看洛佛耳爵士等在英国皇家天文学会的 *Occasional Notes* No.16,1954 里所发表的一篇文章。



彗木相撞留影

1994年苏—列9号彗星被木星的强大引力撕裂成块,在7月15~22日之间彗星相继和木星相撞,这是人类第一次看到天体相撞实况。据说相撞的总能量高达若干亿颗原子弹!相撞时拍到的巨大火球,可以和地球大小相比!

不均匀的低层大气,所造成的闪烁现象。1953年米耳斯(B. Y. Mills)根据他在悉尼射电物理实验室所作的精密的干涉观测,说明射电星不是点源的,范围虽小,却有可以量得的直径,因此不能以“星”字来命名,而应以较广泛的“射电源”那个名称去代替它。最奇怪的是大多数射电源,虽然有时强度相当大,可不能证认为已知的星或用光学方法认识的天体。仙后和天鹅两星座内最强的射电源,差不多和宁静太阳的射电源一样强。

光学天文学家和射电天文学家经过几年的密切协作和辛勤工作,以求这问题的解决,有几个比较强的射电源终于被证认为银河系里稀有的星气和特殊的河外星云。1949年波耳顿和斯坦勒从金牛座里蟹状星云附近的一个强射电源上觅得第一个线索;蟹状星云是一个奇怪的银河星云,经人证明是中国人于1054年所观测过的超新星的遗迹(参看第六章§44)。以后他们又找着室女和半人马两个星座里的强射电源位置在两个河外星系的附近,可是因为许多别的射电源没有对应的光学天体,所以我们不能作出肯定的结论。

射电天文学的一个最大难题便是欠缺分辨本领,这是因为射电波长而射电望远镜的大小又受了实际的限制。初期射电望远镜的分辨本领只以度数计,比最小的光学望远镜或人目的分辨本领小几千倍。方位测定不精确的缺陷,因在射电技术上使用类似迈克耳森干涉仪的方法(参看第六章§42),得到一些改善;剑桥的史密斯和悉尼的米耳

斯对几个很强的射电源求得的精确位置,使巴德和明可夫斯基(R. Minkowski)用 200 英寸望远镜证认出和这些射电源对应的光学天体。1954 年所刊布的和射电源对应的天体种类繁多,令人难解:有些像蟹状星云,是超新星的气体遗迹;有些像仙后座里的射电源,还有具有很高的无规速度,因而具有猛烈的湍流的一种特殊的银河星气;另外一些像天鹅座内的射电源,经巴德和明可夫斯基证认为一对遥远的、碰撞着的河外星系。还有别的奇特的河外星系是与极强的射电源相对应的,总之还没有普遍的理论去说明这些各式各样的天体为什么发出异常的射电波。

河外星系 正常的星系,如我们的银河星系,所发的射电波很微弱,这是 1950 年汉贝里·布朗(R. Hanbury Brown)和哈扎尔(C. Hazard)在焦德堤用口径 220 英寸(66 米)的巨型固定射电望远镜所测得的,这种射电望远镜由固定在支柱上的金属线所形成的抛物面,去接收天顶附近小区域内的射电波。由于这仪器具有很高的灵敏度和指向性,所以能够查出仙女座内大旋涡星云的微弱射电信号;这强度是与银河系移至仙女座星云处应有的强度相同。这以后的几年内焦德堤又从北半球的另外几个旋涡星云收得射波,在南半球上米耳斯于 1954 年用新巨型射电望远镜探得麦哲伦星云和几个明亮星系的射电波;这座射电望远镜是十字形的,它的每根长 1 500 英尺(450 米)的水平天线,当时可算是世界上最大而最有力的射电望远镜了。这几年来射电望远镜的制造技术大有改进,口径虽然维持在 60 至 75 米的范围之内,可是性能优良,将如光学天文学家所使用的反光望远镜那样,所得的结果是确定的,胜过以前射电天文工作者为了补足分辨本领的缺陷,所用的仪器既复杂,结果又可疑。

星际氢气 以上所说的研究的根据都是太阳、银河或射电源的连续频谱。1944 年来顿的万德赫斯特由氢原子能级里超精细结构的理论研究,预言星际中性氢原子的个别发射,可用 21 厘米波去观测到。这种射电波的形成是由自旋电子逆转它的旋转方向时,氢原子能量稍微的改变而来。对于电子,这也是一种很难实现的跃迁,一个原子平均要在 1 100 万年里才能发出一次 21 厘米波的谱线。可是这条谱线确于 1951 年先后被美国物理学家尤恩(H. I. Ewen)与普尔塞耳(E. M. Purcell)、荷兰天文学家密勒尔(C. A. Muller)与奥尔特以及澳洲的克里斯田森与欣德曼(J. V. Hindman)所发现。将 21 厘米波的谱线和其附



波江座 Φ 字形纺锤状星云 NGC1300

注意两臂和中心轴成 90° 的分离。

近连续背景加以比较,当银河扫过接收器的视场时,强度略显超差。

自初次观测以后,星际氢气的射电波的研究有迅速的进展,所得的结果在天文上有重要的意义,最出色的成就当推 1953 ~ 1954 年间米勒尔、奥尔特与万德赫斯特对银河旋涡结构的详细描绘(这是用光学方法初次探测以后不久的事(参看 § 50);他们所以获得这种结果,是

因为星际氢多汇聚在银河系的旋涡臂上,对它发射的波便可利用多普勒效应,精密测定它的视向速度,如果采取适当的银河自转的模型,由这速度便可推算出 21 厘米波的氢的距离。

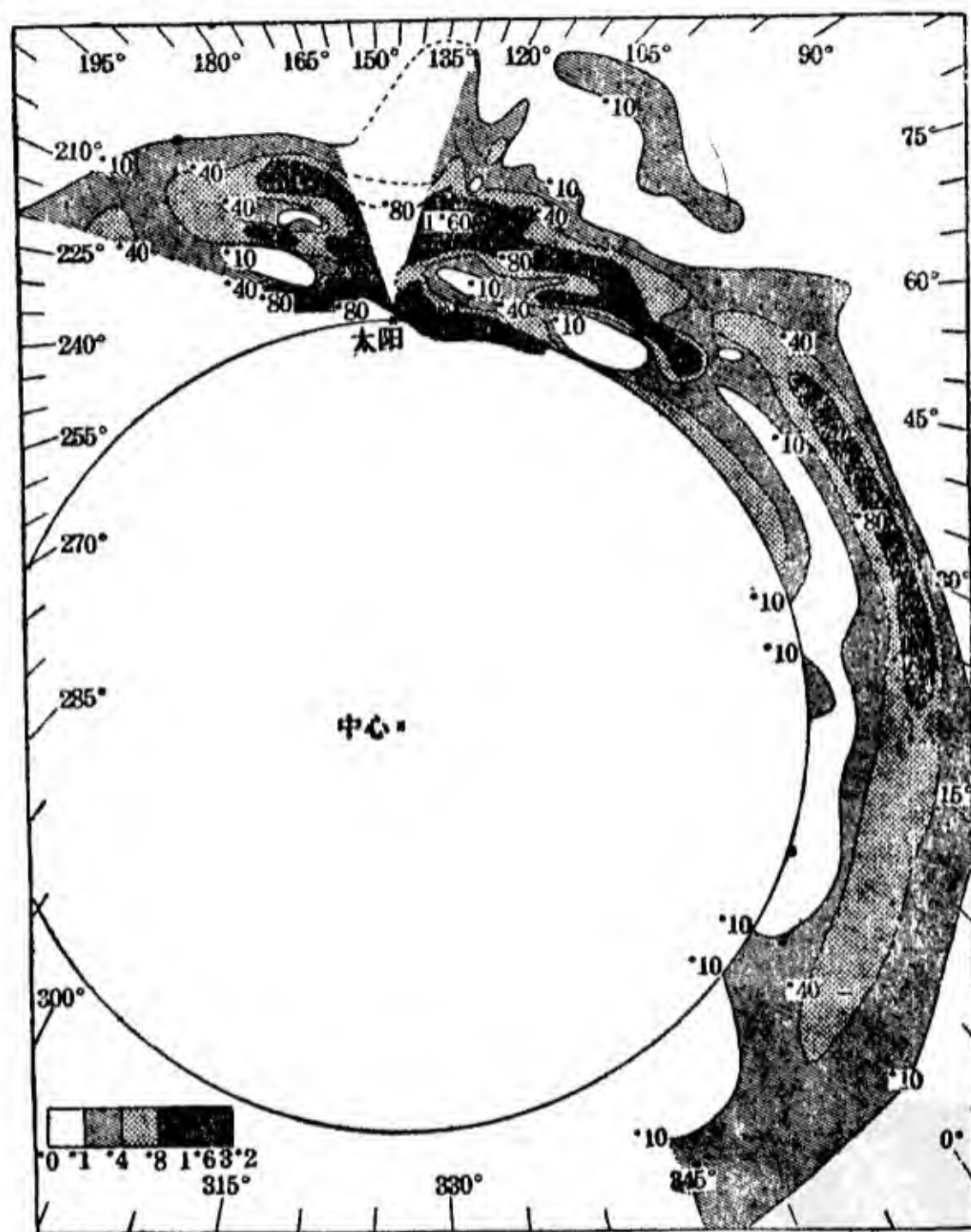


图 35 由射电观测求得的银河系的旋涡结构
(根据奥尔特等人的研究,1954)

因为星际吸光的缘故,光学观测只能探测银河系里和我们邻近的一个小范围,而且只限于高温星的紫外辐射使气体电离,刺激其发出光波的区域(这叫做 H II 区域,参看 § 50),但是射电观测由 21 厘米辐射的测量求出的星际中性氢的密度,描绘在这一幅银河面的图上。以这种方法可以探测整个银河系,甚至透过银河的核心,检验在基态下

的星际氢(叫做 H I 区域)的辐射。

我们将米勒尔、奥尔特和万德赫斯特于 1954 年所绘的银河旋涡臂的图画复制于图 35。

中性氢的 21 厘米长的射电波,于 1953 年经克尔(F. J. Kerr)与欣德曼在离我们最近的河外星系大小麦哲伦星云内探得,他们的测量表明小云周围有很广阔的氢气的大气,且向大云伸展出去,好像受了潮汐的作用一般;光学的观测表现有相似的现象,不过更短小更狭窄罢了 (§ 57)。在两云的许多点的气体上所测定的视向速度于 1954 年经克尔和本书作者加以分析,以求这两星系的自转和质量。

哈佛大学射电天文站在波克领导下所进行的研究,说明中性氢的 21 厘米射电波,不只是在银河附近,在天上许多区域都可查出,这表示据现今的看法我们星系是一个晚型的旋涡星系,周围有氢气形成的一个宏大冠冕。

天空的背景辐射曾经人用连续射电频谱内的几个波加以研究,著名的有焦德堤站汉贝里·布朗与哈扎尔及俄亥俄大学射电天文台的克罗斯(J. D. Kraus)与柯献钦。这些研究表明强的银河辐射和个别射电源之外,在银极区辐射的微弱背景上可能还有一种确定的结构。尔伯等人早期的研究已经说明银极的剩余辐射是不可忽略的,要解释这个现象便须在银河辐射之外更加入一种各向同性的辐射,但其来源仍难说明。有些射电天文学家相信这是由于和银河星系相联的射电源的球状分布,也有人说是高速电子在弱磁场里运动的结果,更有人说这背景的一部分是远方星系的累积辐射。

1953 年曼彻斯特和科伦布斯两处的天文工作者在相隔数月的期间内,宣布他们在背景上发现一带特别强的辐射,这一带恰和近邻星系群相接近,以形成“本超星系”的途径 (§ 51),这样有力地说明背景辐射至少有一部分是不从河外星系的累积辐射而来的,观测的强度远远超过根据以下两种基础计算出的强度,这两种基础是:星云的已知计数和对个别近邻星系射电—光学两种辐射比的测量值。宇宙论上的困难问题,包括光谱和射电的红移效应须得澄清以后,才可能形成确定的结论。也许我们须承认在广阔的星系空间里有从弥漫介质而来的发射波,这个假说对于宇宙论又有更大的意义。

总之,射电天文学的新方法已经人们公认为使天文学进展最重要的方法。一些射电源和一部分背景辐射的来源可能在宇宙深处,在



三叶星云

也叫三裂星云,位于人马星座银河密集之处,距离 5 600 光年,是一个气体弥漫星云,颜色和形态均美。

200 英寸口径望远镜所能达到的区域之外。如果这个可能性经人证实,那么射电方法比光学方法能达到更辽远的宇宙,这可算是射电天文学里最令人向往的问题了。

人名索引

- Abbe, C. (1838 ~ 1916) 阿贝
Abbot, C. G. (1872 ~ 1974) 艾博特
Abetti, G. 阿贝蒂
Abney, Sir William de W. (1843 ~ 1920) 阿布尼
Abul-Wefa (Abulfeda) (939 ~ 998)
阿布 - 韦法
Adams, A. N. 亚当斯
Adams, J. C. (1819 ~ 1892) 亚当斯
Adams, W. S. (1876 ~ 1956) 亚当斯
Airy, Sir George B. (1801 ~ 1892)
艾里
Al-Battani (Albategnius, 858 ~ 929)
阿耳 - 巴塔尼
Alfvén, H., 阿尔芬
Alhazen (? ~ 1038) 阿耳哈曾
Aller, L. H., 阿勒耳
Alpetragius 阿耳珀特腊朱斯
Alphonse X (13 世纪) 阿方索十世
Al-Sufi (903 ~ 986) 阿耳 - 苏菲
Ambartsumian, V. A. 阿巴楚敏
Anaximander (约公元前 610 年 ~ 公元前 454 年) 阿那克西曼德
Anaximenes (约公元前 565 年 ~ 公元前 500 年) 阿那克西米尼
Anaxagoras (公元前 499 年 ~ 公元前 428 年) 阿那克萨哥拉
Andrade, E. N. da C., 安德拉德
Angström, A. J. (1814 ~ 1874) 埃格斯特龙
Antoniadi, E. M. (1870 ~ 1944) 昂通尼亚迪
Appleton, Sir Edward 阿普耳顿
Apollonius (约公元前 260 年 ~ 公元前 200 年) 阿波郎尼斯
Arago, F. (1786 ~ 1853) 阿腊果
Argelander, F. W. A. (1799 ~ 1875)
阿格朗德尔
Aristarchus (约公元前 310 年 ~ 公元前 230 年) 亚里斯塔克
Aristillus (约公元前 300) 阿里斯提吕斯
Aristotle (公元前 384 年 ~ 公元前 322 年) 亚里士多德
Armitage, A. 阿尔米塔季
Arrhenius, S. (1859 ~ 1927) 阿雷尼乌斯
Arzachel 阿尔扎歇耳

- Ashbrook, J. 阿希布鲁克
 Auwers, G. F. A. (1838 ~ 1915) 奥魏尔斯
 Auzout, A. (1630 ~ 1691) 奥佐
- Baade, W. 巴德 (1893 ~ 1960)
 Babcock, H. D. 与 H. W. 巴布科克
 Babinet, J. (1794 ~ 1872) 巴比内
 Bailey, S. I. (1854 ~ 1931) 贝勒
 Bailly, J. S. (1736 ~ 1793) 贝利
 Baily, F. (1774 ~ 1844) 贝利
 Baker, J. G. 贝克尔
 Baldet, F. (1885 ~ 1965) 巴耳代
 Baum, W. A. 波姆
 Baume Pluvinel, A. de la (1860 ~ 1938) 博姆·普吕维内耳
 Barbier, D. (1907 ~ 1965) 巴比页
 Barnard, E. E. (1857 ~ 1923) 巴纳德
 Baumgardt, C. 包姆加尔特
 Bayer, J. (1572 ~ 1625) 巴耶尔
 Becker, W. 贝克尔
 Beer, W. C. (1797 ~ 1850) 比尔
 Behr, A. 伯尔
 Berry, A. 贝里
 Bessel, F. W. (1784 ~ 1846) 贝塞尔
 Bethe, H. 贝特
 Bickerton, A. W. 比克顿
 Biela, W. (1782 ~ 1856) 比厄拉
 Biermann, L. 比尔曼
 Bigay, J. 比格
 Bigourdan, G. (1851 ~ 1932) 比古当
 Bjerknes, V. 杰克内斯
- Blaauw, W. 布洛夫
 Blackett, P. M. S. 布拉克特
 Bode, J. E. (1747 ~ 1826) 波德
 Bok, B. J. 波克
 Bolton, J. G. 波耳顿
 Bond, G. P. (1825 ~ 1865) 邦德
 Bond, W. C. (1789 ~ 1859) 邦德
 Bondi, H. 邦迪
 Bouguer, P. (1698 ~ 1758) 布盖
 Bouvard, A. (1767 ~ 1843) 布瓦尔
 Bowen, I. S. 包温
 Bradley, J. (1693 ~ 1762) 布拉德累
 Brahe, Tycho (1546 ~ 1601) 第谷·布拉赫
 Bredichin, T. (1831 ~ 1904) 布累基兴
 Brewster, D. (1781 ~ 1868) 布儒斯特
 Brodetsky, S. (1888 ~ 1954) 布罗兹基
 Brouwer, D. (1903 ~ 1966) 布劳尔
 Brown, E. W. (1866 ~ 1935) 布朗
 Bruno, G. (1548 ~ 1600) 布鲁诺
 Bryant, W. W. (1865 ~ 1925) 布赖恩特
 Buffon (1707 ~ 1788) 布丰
 Bunsen, R. (1811 ~ 1899) 本生
 Busch 布施
 Butler, H. E. 巴特勒
- Cabannes, J. 卡巴恩
 Cannon, A. J. (1863 ~ 1941) 卡农
 Carrington, R. C. (1826 ~ 1875) 卡伦顿
 Cassini, J. D. (1625 ~ 1712) 卡西尼
 Cassini, J. (1677 ~ 1756) 卡西尼

- Caspar, M. 卡斯帕尔
 Cauchy, Ch. (1789 ~ 1857) 科希
 Cayrel, R. 凯雷耳
 Celsius, A. (1701 ~ 1744) 塞耳苏斯
 Challis, J. C. (1803 ~ 1862) 查利斯
 Chalonge, D. 夏隆日
 Chamberlin, T. C. (1843 ~ 1925) 钱伯林
 Chandrasekhar, H. S. 昌德拉塞卡
 Chladni, E. F. F. (1756 ~ 1827) 克拉德尼
 Christiansen, W. 克里斯田森
 Clairaut, A. C. (1713 ~ 1765) 克莱洛
 Clark Alvan (1832 ~ 1897) 克拉克
 Clemence, G. L. 克莱门斯
 Clerke, A. M. (1842 ~ 1907) 克勒尔克
 Coblentz, W. W. 科布伦兹
 Code, A. D. 科德
 Cohen, B. 科恩
 Common, A. A. (1841 ~ 1903) 孔芒
 Comte, A. (1798 ~ 1857) 孔德
 Copernicus, N. (1473 ~ 1543) 哥白尼
 Cornu, M. A. (1841 ~ 1902) 科尔努
 Cowling, T. G. 考林
 Curtis, H. D. (1872 ~ 1942) 柯蒂斯
 Daguerre, L. J. M. (1787 ~ 1851) 达盖尔
 D' Alembert, J. (1717 ~ 1783) 达朗贝尔
 Damoiseau, M. C. T. (1768 ~ 1846) 达木瓦佐
 Danjon, A. (1890 ~ 1962) 当容
 Darwin, G. H. (1845 ~ 1912) 达尔文
 Dauvillier, A. 道维利耶
 Davis, L. 戴维斯
 Dawes, W. H. (1799 ~ 1868) 多韦斯
 Delambre, J. B. T. (1749 ~ 1822) 德郎布尔
 De La Rue, Warren (1815 ~ 1889) 德拉吕
 Delaunay, C. (1816 ~ 1872) 德洛内
 Democritus (约公元前 470 年) 德谟克利特
 Descartes, R. (1596 ~ 1650) 笛卡儿
 De Sitter, W. (1872 ~ 1934) 德·希特尔
 Deslandres, H. (1853 ~ 1948) 德朗达尔
 Doig, P. (1882 ~ 1952) 杜瓦格
 Dollfus, A. 陶尔斐斯
 Dollond, J. (1706 ~ 1761) 多郎德
 Donati, G. B. (1826 ~ 1873) 多纳提
 Doppler, C. (1803 ~ 1853) 多普勒
 Draper, H. (1837 ~ 1882) 德腊珀尔
 Draper, J. W. (1811 ~ 1882) 德腊珀尔
 Dreyer, J. L. E. (1852 ~ 1926) 德雷耶尔
 Dufay, J. (1896 ~ 1967) 杜费
 Duhem, P. (1861 ~ 1916) 杜赫姆
 Duner, N. C. (1839 ~ 1914) 当内耳
 Dunham, T. 当哈姆
 Eckert, W. J. 埃克尔特

Eddington, A. (1882 ~ 1944) 爱丁顿
 Edlen, B. 埃德伦
 Eggen, O. 埃根
 Einstein, A. (1879 ~ 1955) 爱因斯坦
 Ellison, M. A. 爱里森
 Elsaesser, H. 埃耳萨塞
 Elvey, C. T. 埃耳佛
 Emden, R. (1862 ~ 1940) 埃姆登
 Encke, J. F. (1791 ~ 1865) 恩克
 Eratosthenes (公元前 276 年 ~ 公元前 194 年) 埃拉托色尼
 Essen, G. 埃森
 Euclid (约公元前 330 年 ~ 公元前 270 年) 欧几里得
 Eudoxus (公元前 409 年 ~ 公元前 356 年) 欧铎克色斯
 Euler, L. (1707 ~ 1783) 欧拉
 Evans, D. S. 埃范斯
 Evershed, J. 爱维谢德
 Ewen, H. I. 尤恩

 Fabricius, D. (1564 ~ 1617) 法布里许斯
 Faye, H. (1814 ~ 1902) 法伊
 Fechner, G. T. (1807 ~ 1857) 费希内尔
 Fermi, E. (1901 ~ 1954) 费米
 Fessenkov, V. G. (1889 ~ 1972) 费森可夫
 Finch, H. F. 芬希
 Fizeau, H. (1819 ~ 1896) 费佐
 Flammarion, C. (1842 ~ 1925) 弗拉马利翁

Flamsteed, J. (1646 ~ 1719) 弗拉姆斯蒂德
 Forbes, G. (1849 ~ 1936) 福尔布斯
 Foucault, L. (1819 ~ 1868) 傅科
 Fowler, R. H. (1889 ~ 1944) 福勒
 Fraunhofer, J. (1787 ~ 1826) 夫琅和费
 Frost, E. B. (1866 ~ 1935) 弗罗斯特

 Gade, J. A. 格德
 Galileo, G. (1564 ~ 1642) 伽利略
 Galle, J. G. (1812 ~ 1910) 加勒
 Gambart 冈巴尔
 Gassendi, P. (1592 ~ 1655) 伽桑狄
 Gauss, C. F. (1777 ~ 1855) 高斯
 Gill, D. (1843 ~ 1914) 季耳
 Gold, T. 戈耳德
 Goodricke, J. (1764 ~ 1786) 库德里克
 Gould, B. A. (1824 ~ 1786) 古尔德
 Greenstein, J. L. 格伦斯登
 Gum, C. S. 加姆
 Guthnick, P. (1879 ~ 1947) 古特尼克

 Hale, G. E. (1868 ~ 1938) 海耳
 Hall, A. (1829 ~ 1907) 霍耳
 Hall, J. S. 霍耳
 Halley, Ed. (1656 ~ 1742) 哈雷
 Hanbury Brown, R. 汉贝里·布朗
 Hansen, P. A. (1795 ~ 1874) 汉森
 Harkness, W. 哈克内斯
 Hartmann, G. 哈特曼
 Hazard, C. 哈扎尔
 Heis, F. (1806 ~ 1877) 黑斯

Helmholtz, H. von (1821 ~ 1894) 赫姆霍茨

Hencke, K. L. (1793 ~ 1866) 亨克

Henderson, T. (1798 ~ 1844) 亨德森

Henry, Paul (1848 ~ 1905) 亨利

Henry, Prosper (1849 ~ 1903) 亨利

Héraclides (公元前 388 年 ~ 公元前 315 年) 赫拉克利德

Heraclitus (约公元前 540 年 ~ 公元前 480 年) 赫拉克利特

Herman, R. 赫尔曼

Herschel, Caroline (1750 ~ 1848) 赫歇耳, 嘉罗琳

Herschel, John (1792 ~ 1871) 赫歇耳, 约翰

Herschel, William (1738 ~ 1822) 赫歇耳, 威廉

Hertzsprung, E. (1870 ~ 1967) 赫兹斯朋

Herzberg, G. 赫兹白格

Hess, S. L. 赫斯

Hevelius, J. (1611 ~ 1687) 赫韦吕斯

Hey, J. S. 赫

Hill, G. W. (1838 ~ 1914) 希尔

Hiltner, W. A. 希特内尔

Hind, J. R. (1823 ~ 1895) 欣德

Hindman, J. V. 欣德曼

Hinks, A. R. (1873 ~ 1945) 欣克斯

Hipparchus (约公元前 190 年 ~ 公元前 125 年) 喜帕恰斯

Hodgson, R. 霍格森

Holden, E. S. (1846 ~ 1914) 霍耳顿

Holmberg, E. 霍姆白格

Holmes, A. 霍姆斯

Hooke, R. (1638 ~ 1703) 胡克

Horrox, J. (1619 ~ 1641) 霍罗克斯

Howarth, H. E. 霍瓦尔思

Hoyle, F. 霍艾耳

Hubble, E. P. (1889 ~ 1953) 哈勃

Huggins, Wm. (1824 ~ 1910) 哈根斯

Humason, M. L. 哈马森

Humbolt, F. von (1769 ~ 1859) 洪保德

Huruhata, M. 古畑

Huygens, C. (1629 ~ 1695) 惠更斯

Ibn-Younis (? ~ 1088) 伊本 - 尤尼斯

Jansky, K. G. 江斯基 (1905 ~ 1950)

Janssen, J. (1824 ~ 1907) 让桑

Jarry-Desloges, R. (1868 ~ 1951) 雅里 - 德洛日

Jeans, J. (1877 ~ 1946) 秦斯

Jenkins, L. (1892 ~ 1910) 靳金斯

Johnson, H. L. 约翰生

Kaiser, F. (1808 ~ 1872) 凯塞尔

Kaliniak, A. A. 卡林尼亚克

Kant, E. (1724 ~ 1804) 康德

Kapteyn, J. C. (1851 ~ 1922) 卡普坦

Keeler, J. E. (1857 ~ 1900) 基勒尔

Kempf, P. (1856 ~ 1920) 康弗

Kepler, J. (1571 ~ 1630) 开普勒

Kerr, F. J. 克尔

Kesten, H. 克斯顿

- King, A. S. 金
 King, H. C. 金
 Kirchhoff, G. R. (1824 ~ 1887) 克希霍夫
 Kirkwood, D. (1815 ~ 1895) 扣克伍德
 Ko, H. C. 柯献钦
 Kohlschütter, A. (1883 ~ 1942) 科耳许特
 Krassovsky, V. 克拉索夫斯基
 Kraus, J. D. 克罗斯
 Kron, G. E. 克龙
 Kuiper, G. P. (1908 ~ 1973) 柯伊伯
- La Caille, N. L. de (1713 ~ 1762) 拉卡伊
 La grange, J. L. (1736 ~ 1813) 拉格朗日
 La Hire, P. de (1640 ~ 1718) 拉伊尔
 Lalande, J. J. de (1732 ~ 1807) 拉朗德
 Lallemand, A. 拉耳芒
 Lambert, J. H. (1728 ~ 1777) 朗白尔
 Lamont, J. (1805 ~ 1879) 拉芒特
 Lampland, C. O. (1873 ~ 1951) 兰普兰德
 Langley, S. P. (1834 ~ 1906) 朗格勒
 Laplace, P. S. de (1749 ~ 1827) 拉普拉斯
 Lassell, W. (1799 ~ 1880) 拉塞尔
 Leavitt, H. S. (1868 ~ 1921) 勒维特
 Lemaître, G. (1894 ~ 1966) 勒梅特
 Le Verrier, U. J. J. (1811 ~ 1877) 勒威耶
- Lindblad, B. (1895 ~ 1965) 林布拉德
 Link, F. 林克
 Lockyer, Norman (1836 ~ 1920) 洛基尔
 Loewy, M. (1833 ~ 1907) 洛维
 Lohrmann, W. G. (1796 ~ 1840) 洛尔曼
 Longomontanus, C. S. (1562 ~ 1647) 隆戈蒙塔尼斯
 Lovell, A. C. B. 洛佛尔
 Lowell, P. (1855 ~ 1916) 洛韦尔
 Lubbock, C. A. 鲁博克
 Lundmark, K. (1889 ~ 1958) 隆德马克
 Luryten, W. J. 吕伊顿
 Lyons, H. 李荣
 Lyot, B. (1897 ~ 1952) 李约
 Lyttleton, R. A. 利特耳顿
- Macpherson, H. 马克费森
 Macpike, E. F. 马克拜克
 Hacris, C. 马克里斯
 Mädler, J. H. von (1795 ~ 1874) 马德累尔
 Maraldi, J. P. (1665 ~ 1729) 马拉迪
 Markowitz, W. 马科维茨
 Martin, T. H. 马尔廷
 Martyn, D. F. 马尔提恩
 Maskelyne, N. (1732 ~ 1811) 马斯克利恩
 Maunder, E. W. (1851 ~ 1928) 蒙德
 Maupertuis, M. de (1689 ~ 1759) 莫佩屠斯

- Maury, A. C. (1868 ~ 1952) 莫里
 Maxwell, J. C. (1831 ~ 1879) 麦克斯韦
 Mayall, N. U. 迈尔
 Mayer, R. 迈尔
 Mayer (或 Marius), S. (1570 ~ 1624) 默耶尔
 Mayer, Tobias (1723 ~ 1762) 默耶尔
 McCready, L. L. 马克累迪
 MeLaughlin, D. B. 马克洛林
 Méchain, A. (1744 ~ 1804) 默香
 Melotte, P. (1880 ~ 1961) 默洛特
 Melvill, T. (1726 ~ 1753) 梅尔维尔
 Menzel, D. H. 门泽尔
 Merrill, P. W. (1887 ~ 1961) 默里耳
 Messier, Ch. (1730 ~ 1817) 梅西耶
 Mestel, L. 默斯特耳
 Michell, J. (1724 ~ 1793) 米切尔
 Michelson, A. A. (1852 ~ 1931) 迈克耳森
 Migeotte, M. 米几奥特
 Millman, P. M. 米尔曼
 Mills, B. Y. 米尔斯
 Milne, E. A. (1896 ~ 1950) 米尔恩
 Mineur, H. (1899 ~ 1954) 米内尔
 Minkowski, R. 明可夫斯基
 Minnaert, M. 米纳尔
 Moore-Sitterly, C. E. 莫尔
 Morgan, H. R. 摩根
 Morgan, W. W. 摩根
 Morley, 莫勒
 Mouchez, F. A. B. (1821 ~ 1892) 木歇
 Moulton, F. R. (1872 ~ 1952) 木耳顿
 Muller, C. A. 密勒尔
 Müller, K. H. G. (1851 ~ 1925) 密勒尔
 Muller, John (1436 ~ 1476) 密勒尔
 Neugebauer, O. 纽吉包尔
 Newcomb, S. (1835 ~ 1909) 纽康
 Newton, H. A. (1830 ~ 1896) 牛顿
 Newton, Isaac (1642 ~ 1727) 牛顿
 Nicholson, S. B. (1891 ~ 1963) 尼科尔森
 Nicolas de Cues (1401 ~ 1464) 尼科拉·德·居斯
 Niepce, J. N. (1765 ~ 1833) 尼普斯
 Nikonov, V. B. 尼科诺夫
 Nordmann, Ch. 诺尔德曼
 Numerov, B. V. 吕梅罗夫
 Obaldia, G. de 奥巴迪亚
 O'Connell, D. J. K. 奥康内耳
 Olbers, H. W. M. (1758 ~ 1840) 奥耳贝斯
 Oort, J. H. 奥尔特
 Öpik, E. 奥皮克
 Osiander, A. (1498 ~ 1552) 阿济廷德
 Oskanjan, V. 奥斯康让
 Osterbrock, O. 奥斯特布洛克
 Pannekoek, A. (1872 ~ 1960) 潘内科克
 Parenago, P. P. (1906 ~ 1960) 巴联拉果
 Parmenides (约公元前 520 年 ~ 公

- 元前 450 年)巴门尼德
 Parsons, S. J. 帕尔森
 Payne-Gaposchkin, C. 佩恩 - 加波什金
 Pease, F. G. (1881 ~ 1938) 比斯
 Perrine, C. D. (1868 ~ 1951) 白里恩
 Peters, C. A. J. (1806 ~ 1882) 比特斯
 Peters, C. H. F. (1813 ~ 1890) 比特斯
 Pettit, E. (1889 ~ 1962) 白提
 Phillips, J. W. 菲利普
 Philolaus (约公元前 450 年 ~ 公元前 400 年) 斐洛劳斯
 Piazzzi, G. (1746 ~ 1826) 皮亚齐
 Picard, J. (1620 ~ 1682) 皮卡尔
 Pickering, E. C. (1846 ~ 1919) 皮克林
 Pickering, W. H. (1858 ~ 1938) 皮克林
 Pierce, A. K. 皮尔斯
 Pingré A. G. (1711 ~ 1796) 潘格雷
 Plana, A. A. (1781 ~ 1864) 普拉纳
 Planck, M. (1858 ~ 1947) 普朗克
 Plato (约公元前 427 年 ~ 公元前 347 年) 柏拉图
 Pogson, N. (1829 ~ 1901) 波格森
 Poisson, S. D. (1781 ~ 1840) 普瓦松
 Pons, J. L. (1761 ~ 1831) 庞斯
 Popper, D. M. 博佩尔
 Posidonius (约公元前 133 年 ~ 公元前 49 年) 波西当尼斯
 Pouillet, C. (1790 ~ 1868) 普耶
 Powalky, C. R. 波瓦耳基
 Pritchard, C. (1808 ~ 1893) 普里恰尔
 Proctor, R. A. (1837 ~ 1888) 普罗克托
 Ptolemy, C. (约 90 ~ 168) 托勒密
 Puiseux, P. (1855 ~ 1928) 皮伊瑟
 Purbach, G. (1423 ~ 1461) 普尔巴赫
 Purcell, E. M. 普尔塞尔
 Pythagoras (约公元前 580 年 ~ 公元前 500 年) 毕达哥拉斯
 Quételet, J. (1796 ~ 1874) 凯特勒
 Rabe, E. 腊布
 Radau, J. C. R. (1835 ~ 1911) 腊道
 Ramsay, Wm. (1852 ~ 1916) 雷姆赛
 Reber, G. 尔伯
 Regiomontanus 雷乔蒙塔努, 即 Muller J.
 Respighi, L. (1824 ~ 1889) 雷斯皮季
 Riccioli, J. B. (1598 ~ 1671) 里希奥利
 Richardson, R. S. 里恰尔森
 Ritchey, G. W. (1864 ~ 1945) 里切
 Roach, F. E. 罗奇
 Roberts, I. (1829 ~ 1904) 罗伯尔茨
 Roberts, W. O. 罗伯尔茨
 Roche, E. (1820 ~ 1883) 罗奇
 Römer, O. (1644 ~ 1710) 罗梅尔
 Rosse (1800 ~ 1867) 罗斯, 即 WParsons
 Rossiter, R. A. 罗西特尔
 Rowland, H. A. (1848 ~ 1901) 劳兰德
 Russell, H. N. (1872 ~ 1957) 罗素
 Rutherford, L. M. (1816 ~ 1892) 卢瑟福

Ryle, M. 赖尔

Sabine, Ed. (1788 ~ 1883) 萨比恩

Sadler, D. H. 萨德勒尔

Saha, Meg Nad (1893 ~ 1956) 萨哈

St. John, Ch. (1857 ~ 1935) 圣约翰

Sandage, A. R. 散达季

Savary, F. (1797 ~ 1841) 萨瓦里

Schaeberle, J. M. (1853 ~ 1924) 舍
伯尔

Schalen, C. (1826 ~ 1911) 沙伦

Schatzman, E. 沙兹曼

Scheiner, C. (1575 ~ 1650) 席奈尔

Scheiner, J. (1858 ~ 1913) 席奈尔

Schiaparelli, G. V. (1835 ~ 1910) 斯
基帕雷利

Schlesinger, F. (1871 ~ 1943) 施勒
辛格尔

Schmidt, B. (1879 ~ 1935) 施米特

Schmidt, J. (1825 ~ 1884) 施米特

Schmidt, O. J. (1891 ~ 1956) 施米
特

Schönfeld, E. (1828 ~ 1891) 顺费
耳德

Schröter, J. (1745 ~ 1816) 施罗特尔

Schuette, K. 许埃特

Schwabe, H. S. (1789 ~ 1875) 施瓦布

Schwarzschild, K. (1873 ~ 1916) 史
瓦西耳德

Schwarzschild, M. 史瓦西耳德

Secchi, A. (1818 ~ 1878) 塞西

Seeliger, H. von (1849 ~ 1924) 西利
格尔

Shajn, G. A. (1892 ~ 1956) 沙茵

Shane, C. D. 沙恩

Shapley, H. (1885 ~ 1972) 夏普勒

Sharpless, H. 夏尔普勒斯

Shklovskii, I. B. 史克洛夫斯基

Siedentopf, H. 西登托夫

Sidgwick, J. B. 西德威克

Slipher, E. C. (1883 ~ 1964) 斯利
弗尔

Slipher, V. M. (1875 ~ 1969) 斯利
弗尔

Smith, F. G. 史密斯

Smith, H. M. 史密斯

Sosigenes (约公元前 50 年) 索西
尼斯

South, J. 叟思

Southworth, G. C. 叟思沃思

Spencer-Jones, H. (1890 ~ 1960) 斯
宾塞尔 - 琼斯

Spitzer, L. 斯皮泽尔

Spörer, F. W. G. (1822 ~ 1895) 斯
波勒尔

Stanley, G. J. 斯坦勒

Stebbins, J. (1879 ~ 1966) 斯迪宾

Stefan, J. (1835 ~ 1893) 斯芯番

Steinheil, C. A. von 斯太因哈耳

Stoney, G. J. (1826 ~ 1911) 斯东内

Stoy, J. 斯多艾

Stoyko, N. 斯多伊科

Strand, K. A. 斯特兰德

Strömberg, G. 斯冲伯格

Strömgren, B. (1882 ~ 1962) 斯冲
格林

Struve, F. G. W. (1794 ~ 1864) 斯特鲁维

Struve, O. W. (1819 ~ 1905) 斯特鲁维

Struve, O. (1897 ~ 1963) 斯特鲁维

Swedenborg, E. (1688 ~ 1772) 斯维登堡

Swings, P. 斯温斯

Tacchini, P. (1838 ~ 1905) 塔基尼

Taylor, F. S. 太洛尔

Ter Haar, D. 特·哈尔

Texereau, J. 塔克斯罗

Thackeray, A. D. 撒克雷

Thales (公元前约 640 年 ~ 公元前 560 年) 泰勒斯

Thiessen, G. 提森

Tikhov, G. A. (1875 ~ 1960) 季可夫

Timocharis (约公元前 300 年) 提莫恰里斯

Titius, J. D. 提许斯

Tombaugh, C. 汤包

Trumpler, R. J. 汤普勒尔

Tucker, R. H. 塔克尔

Ulug-Beigh (1394 ~ 1449) 乌鲁白格

Unsöld, A. 翁索耳

Urban V III (1568 ~ 1644) 乌尔班八世

Urey, H. C. 尤雷

Van Biesbroeck, G. (1881 ~ 1973) 万·比斯布罗克

Van de Hulst, H. C. 万·德·赫斯特

Van de Kamp, P. 万·德·康

Van Maanen, A (1884 ~ 1946) 万·玛伦

Van Woerkom, J. 万·活孔尔

Violle, J. (1841 ~ 1923) 维沃耳

Vogel, H. (1841 ~ 1907) 沃格耳

Von Klüber, H. 克鲁伯尔

Von Weizsäcker, C. (1882 ~ 1951) 魏扎克尔

Von Zeipel, E. H. 泽佩耳

Waldmeier, M. 瓦德梅耶

Waterfield, R. L. 瓦特菲尔德

Watts, C. B. 瓦特

Weimer, Th. 韦默耳

Wesselink, J. 韦斯林克

Whipple, F. 惠普耳

Whirtanen, C. A. 惠塔嫩

Whitford, A. E. 惠特弗德

Wild, J. P. 威耳德

Wildt, R. 维耳特

Wilsing, J. 威耳森

Wilson, A. 威尔逊

Wilson, A. G. 威尔逊

Witt, G. 威特

Wolf, M. (1863 ~ 1932) 沃耳夫

Wolf, R. (1816 ~ 1893) 沃耳夫

Wollaston, W. H. (1766 ~ 1825) 沃拉斯顿

Wood, R. W. (1868 ~ 1955) 伍德

Wright, A. W. H. 赖特

Wright, T. (1711 ~ 1786) 赖特

Wyse, A. B. (1909 ~ 1942) 怀斯

Yates, G. G. 耶茨

Young, C. A. (1834 ~ 1908) 杨

Zeeman, P. (1865 ~ 1943) 塞曼

Zinner, E. 济内尔

Zöllner, F. (1834 ~ 1882) 泽内尔

Zwicky, F. 兹威基

Zworykin, V. K. 兹沃里金